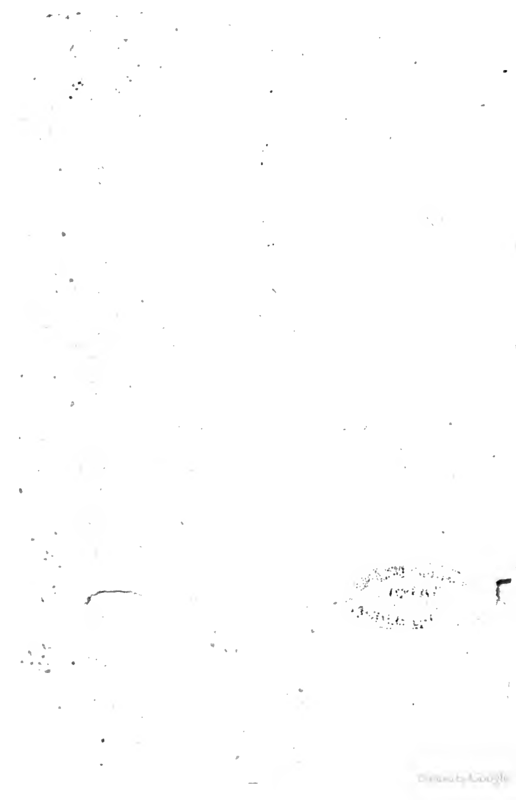


ELEMENTI
DI
FISICA SPERIMENTALE
E DI METEOROLOGIA

DI

M. POUILLET

SOCIO DELL' ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DELL' ISTITUTO DI FRANCIA, PROFESSORE DI FISICA ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE DI PARIGI, PROFESSORE DI FISICA APPLICATA ALLE ARTI AL CONSERVATORIO REALE DI ARTI E MESTIERI, AMMINISTRATORE DI QUESTO STABILIMENTO, MEMBRO DELLA SOCIETA' FILOMATICA, DEL CONSIGLIO DELLA SOCIETA' D' INCORAGGIAMENTO ec. ec.

OPERA

ADOTTATA DAL CONSIGLIO REALE
D' ISTRUZIONE PUBBLICA PER LO INSEGNAMENTO DELLA FISICA
NEGLI STABILIMENTI DELL' UNIVERSITÀ.



QUINTA EDIZIONE

VOLTATA IN ITALIANO CON NOTE E GIUNTE

DI L. PALMIERI

E DEL CAV. MACEDONIO MELLONI



Verus experientiae ordo primum lumen accendit, deinde per lumen iter demonstrat.

BACON. *Nov. Org.*

TOMO PRIMO





NAPOLI

Per Vincenzo Puzziello Editore-Libraio

Strada Toledo n. 346 sotto il Palazzo Cavalcanti

1851





NAPOLI
Stabilimento Tipografico del Tramater
Strada S. Sebastiano N. 3o primo piano.
1851.

AVVERTIMENTO DELL' EDITORE NAPOLETANO



Le tre edizioni che in pochi anni pubblicammo degli elementi di Fisica Sperimentale e di Meteorologia del Pouillet voltati in italiano con note e giunte de' professori Luigi Palmieri e Cav. Macedonio Melloni corrispondevano alla terza e quarta edizione di Parigi. Ora avendo noi spacciati tutti gli esemplari delle tre antecedenti edizioni, quando eravamo sul punto d'intraprenderne una quarta, l'Autore opportunamente pubblicava la sua quinta edizione con moltissime giunte. Ci parve dunque necessario di attenerci in questa nuova pubblicazione alla quinta edizione del professore parigino, ricorrendo nuovamente a' favori del Palmieri ed alla gentile cortesia del Cav. Melloni. Per la qual cosa nel presentare al pubblico questi Elementi, stimati già pregevoli dall'universale e voltati anche in lingua alemanna, ci confidiamo di aver dato a' medesimi un pregio di più per le note e giunte nelle quali si riassumono le ultime sperienze del Melloni sulla bella teorica dal color raggiante, e le ultime ricerche del Palmieri sulle induzioni, sulla rugiada, sull'elettrochimica, sull'elettricità atmosferica ec.



AVVERTIMENTO

SULLA QUARTA EDIZIONE

DEGLI ELEMENTI DI FISICA E METEOROLOGIA

Nel breve tempo decorso da che fu pubblicata la quarta edizione di quest' opera, il progresso della scienza è stato segnato da molti lavori e da importanti scoperte. Sonosi veduti in ogni luogo, sia nella Francia, sia presso lo straniero, molti giovani intraprendere rilevanti ricerche, ed unire i loro nomi a quelli dei più solenni fisici che in questi ultimi tempi hanno tanto cooperato all'avanzamento delle diverse parti della fisica. Tanti risultamenti novelli ottenuti in sì breve tempo in Francia, in Inghilterra, in Italia, in Alemagna, in Russia, in America, fanno la pruova più lucida che la scienza, sarei per dire, è nella sua infanzia, e che noi cominciamo appena ad essere in possesso dei veri mezzi d' osservare, i quali dovrannoci una volta guidare a connettere tutt' i fenomeni naturali mercè di leggi generali e sicure.

Se le grandi divisioni della fisica son da gran tempo segnate, se la gravità, il calorico, l' elettricismo, il magnetismo, le azioni molecolari, l' acustica o l' ottica son l'obbietto della fisica moderna egualmente che dell'antica, non dove perciò inferirsene essere il nostro secolo stazionario o la fisica aver toccato il suo termine, ma solo converrà conchiudere, piccolo essere il numero delle forze cui la materia è sommessa, e queste essersi appalesate agli antichi osservatori per mezzo di fenomeni più o meno sensibili, ed essere stata agevol cosa l' enumerarle e classificarle fin da principio. Potrebbesi parimente conchiudere, il vero scopo della scienza non consistere nello investigare nuove forze, ma bensì nel determinare le leggi e le maniere di operare delle forze già conosciute. E per fermo, tale è stato il sentiere che da tre secoli a questa parte si è calcato, seguendo le orme di Keplero, di Galilei, di Cartesio, di Pascal e di Newton, i quali i primi lo aprirono alla mente umana.

Di quali importanti scoperte non si è arricchita la scienza nel volger di tre secoli i più chiari nella storia dell'umanità! e frattanto quanto non sembrano scarse e limitate le nostre conoscenze allorchè volgiamo seriamente lo sguardo sopra i misteri infiniti in mezzo a' quali ci troviamo! secondo che la scienza si avanza, la nostra mente sembra innalzarsi sopra orizzonte più ampio, dal quale appariscono nuove regioni da esplorare. Noi cominciamo ad uscire dalle tenebre, il nostro sguardo comincia a reggere in faccia alla luce, e possiamo meglio di quel che si potea in altra stagione giudicare de' sodi ed efficaci aiuti che la scienza può dare alla civiltà. Svolgonsi le teoriche, le applicazioni fannosi numerose, e le specolazioni industriali vi ritrovan mezzi per lo innanzi non conosciuti. Poichè la fisica ha occupato un posto nell' insegnamento generale, per assuefare la intelligenza alla logica de' fatti cotanto chiara e feconda, essa si caccia ne' luoghi ove lavora l'artista per recarvi il gusto, la giustezza, e per facilitare le invenzioni. Onde per la felice efficacia di tante congiunture, le scoperte succedonsi le une alle altre con velocità senza esempio, e noi veggiamo da un momento all'altro un nuovo ordine di fenomeni aprire nuove vie alle nostre investigazioni.

Intanto nel mezzo di questo general movimento della scienza, nel mezzo delle mutazioni più o men solide e progressive che essa va soffrendo, i trattati elementari è forza che siano incompiuti: perocchè essi possono offrire il perfetto stato delle nostre conoscenze solo nel tempo della loro apparizione, ma passati appena pochi mesi, questo quadro rimane infedele, non già perchè una proposizione oggi reputata vera possa domani apparir falsa, perocchè fortunatamente abbiamo metodi sperimentali sì fermi da non poter confondere la verità con l'errore, nè i risultamenti si mutano, anzi restano costanti e fan parte del dominio della scienza; ma ciò avviene perchè essi si estendono, fannosi più generali, e solo per una nuova osservazione possono sovente d' una maniera più semplice e più chiara venir dimostrati. Ne' libri d' insegnamento dunque come ne' trattati speciali è da usare somma diligenza non solo di non trascurare alcuna cosa importante, ma eziandio di avvicinare le sperienze ed i fatti, e di classificarli per quanto è possibile secondo un ordine logico valevole a concatenarli strettamente.

Ecco quello che con diligenza novella sonomi ingegnato di fare in questa quinta edizione. Essa ha dovuto ricevere da una parte numerosi cangiamenti i quali hanno per obbietto di rendere le dimostrazioni più chiare o le sperienze più concludenti, e dall'altra parte delle giunte importanti procedenti dallo incremento della scienza, le quali vo' solo qui per sommi capi venire additando.

Nella prima parte del calorico ho esposto i risultamenti di Pierre sulla densità e sul punto di ebollizione di moltissimi liquidi, del pari che i lavori importanti di Michele Faraday sulla compressione e liquefazione de' gas.

Nella seconda parte son riferite le sperienze di Person sul calorico di fusione, col sunto delle mie ricerche presentate all'Accademia delle scienze intorno alle leggi che concernono le quantità di calorico che i vapori de' diversi liquidi assorbono in ragione delle temperature e delle pressioni alle quali si espongono: si troverà pure il sunto

delle sperienze di Regnault sul calorico latente del vapore aqueo fino alla temperatura di 230°, e da ultimo la tavola del calorico latente di molti liquidi ricavato dalle sperienze di Favres e Silbermann e le misure che i medesimi han date per più di cinquanta sostanze delle quantità di calorico svolte dalla combustione.

Il magnetismo, l'elettricità e l'elettromagnetismo formano veramente una sola branca della fisica ed è quella che può dirsi la più grande e che riceve più pronti e svariati incrementi. Un'opera elementare non può esporre per minuto tutt' i fatti, ma io sonomi ingegnato a non ommetterne alcuno che potesse sporgere qualche nuovo raggio di luce sopra una teorica che si rimane cotanto imperfetta ad onta di tanti sforzi e le principali giunte sul proposito concernono la macchina *idroelettrica* di Armstrong, le sperienze di Knochenauer sulle correnti delle batterie comuni, le mie sperienze sull'azione chimica delle correnti, e la *telegrafia elettrica*. E per ciocchè riguarda quest'ultimo subbietto mi è sembrato conveniente dare una descrizione particolareggiata de' diversi apparecchi per far conoscere tutte le azioni fisiche e meccaniche sulle quali si adagia questo nuovo modo di comunicazione che reca il pensiere a distanza con tale una prestezza e fedeltà da recare de' cangiamenti sulle relazioni sociali delle nazioni civili.

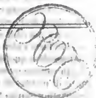
La seconda parte dell'ottica ha ricevute due nuovi capi: l'uno sulla polarizzazione circolare, l'altro sulla teorica delle vibrazioni.

Non solo era mestieri di esporre tutt' i fatti risguardanti le recenti scoperte del Foraday, ma eziandio di fermare, per quanto lo stato della scienza il comporta, i segni pe' quali i nuovi fenomeni di *polorizzazione circolare magnetica* si distinguono dalla *polorizzazione circolare atomica*.

Per quello che spetta al capitolo delle nozioni teoriche col quale si pon termine al trattato della luce, prego i miei lettori a tenerlo come un saggio nel quale sonomi proposto di dar ragione della teorica delle vibrazioni senza far ricorso, per quanto è possibile, a formole molto intrigate: in tal guisa siffatta teorica trovasi ridotta a dodici proposizioni strettamente tra loro legate. Mi confido che il metodo geometrico che ho cercato di applicare sul proposito, sia il più diretto ed il più rigoroso per guidare la mente verso le cagioni primitive dalle quali la luce procede. La quistione per altro è così difficile e contiene tuttavia tante incognite, che ad onta degli sforzi che ho fatto per renderla più semplice si trova ancora piena di difficoltà. Mi terrò nondimeno fortunato se sarò giunto ad indicare con chiarezza i confini a'quali si resta la scienza ed hanno cominciamento le congetture.

Conservatorio reale delle Arti e Mestieri, 15 novembre 1847.

ELEMENTI
DI FISICA SPERIMENTALE
E DI
METEOROLOGIA



NOZIONI PRELIMINARI

CAPO PRIMO

De' fenomeni naturali.—Dello spazio.—Del tempo.—Della materia.— Delle forze.— Del moto.— Dell'inerzia.

1. I naturali fenomeni che sulla terra e nel cielo continuamente riproduconsi, offrono al nostro sguardo uno spettacolo sì grande, ed alla nostra curiosità un allettamento sì forte, che noi siamo, quasi nostro malgrado, indotti a meditare sulle cagioni che generano effetti cotanto maravigliosi. Usciti appena di nostra prima età, fissiam lo sguardo sugli svariati oggetti che la natura ci presenta, e con tutta la forza di nostra mente ci facciamo ad osservare la forma del suolo e de'monti, la gravità dei corpi, il moto delle acque, dell'aria e delle nubi, la lucida volta celeste con le svariatissime apparizioni degli astri innumerabili che sembrano girarla con indicibile regolarità.

Noi siam nati osservatori, ed in questo senso può dirsi che tutti gli uomini siano fisici (1). Ma in mezzo alla moltiplicità de' fenomeni che ci circondano, non può il nostro pensiere immediatamente elevarsi alla conoscenza delle cause e delle leggi generali cui tali fenomeni ubbidiscono. E però la storia del pensiere umano bello è il seguire tra il volger de' secoli, le idee bizzarre che gli uomini successivamente si han formate sulle proprietà de'corpi e degli elementi da'quali compongonsi, sopra principî e le cagioni che agitano la materia e mantengono l'armonia dell'universo. Quale confusione d'ipotesi e di errori in mezzo a'quali uomini d'ingegno elevato gittarono talvolta qualche feconda verità! Ed anche ora, non sarebbe forse bello il conoscere la varietà de'pensamenti umani, procedendo dal più ignorante al più istruito, intorno a'fenomeni della natura, sugli effetti dell'aria e dell'atmosfera, sull'equilibrio delle acque intorno alla terra, sugli effetti del calorico e della luce, sulla meteorologia, come per esempio sulla causa del fulmine che sebbene più non si suole personificare, pure non manca chi ancor se lo immagini come avente una forma ed un corpo! Quale varietà d'idee! Qual differenza fra gli uomini! Quale disparità tra i popoli! Potrebbe dirsi che le opinioni di tutt'i secoli si trovano in una sola generazione: in una mente incolta, presso di una nazione ignorante, tutti gli errori ed i pregiudizî dei secoli passati; in una mente colta, presso di una nazione illuminata, tutte le conoscenze che sonosi tramandate da età in età, e tutte le leggi generali cui la ragione ha potuto innalzarsi.

La fisica, detta anche filosofia naturale, abbraccia una parte di quelle conoscenze le quali in questi tempi il vasto dominio della scienza costituiscono; essa ne è la parte filosofica e fondamentale. Si suol dire che obbietto di questa sono le proprietà dei corpi, e le azioni che questi esercitano a grandi distanze, e ciò infatti può dirsi di più semplice, qualora si voglia in un modo generale assolutamente definirla (2). Ma tentare di definire una scienza vale lo stesso che non voler essere inteso, conciossiachè una scienza non si può come un oggetto materiale o una figura di geometria definire, per qualche sua proprietà caratteristica e singolare. Per la qual cosa ci si permetterà sicuramente d'incominciare lo stu-

(1) Analogamente scrisse Aristotile Met. I. Πάντες ἄνθρωποι τοῦ εἰδέναι ὀρέγονται φύσει.

(2) Stando a questa definizione le azioni molecolari non apparterrebbero alla fisica.

dio della fisica piuttosto dal procurare di porger chiare e precise nozioni degli oggetti de' quali essa si occupa, anzichè vaghe ed oscure definizioni dello scopo cui essa tende (1).

2. *Dello spazio*. Agevole riesce ad ognuno il farsi le idee di lunghezza e di distanza; una lunghezza di sei piedi per esempio è cosa che di leggieri s'intende, e con pari facilità ci facciam l'idea della distanza che passa tra noi ed un punto qualunque dell'orizzonte, ed anche di quella che passa tra noi ed il sole o le stelle. In simil guisa riesce il farci l'idea dell'estensione in superficie, qual sarebbe quella di un ampio lago o del mare, o in volume, come di un metro cubico di marmo o di pietra, di un edifizio, o di un monte. Figuriamoci un metro cubico di marmo sospeso nel mezzo di una massa d'acqua: noi sappiamo, questo potersi torre, e tosto correre l'acqua ad empiere lo spazio che esso occupava; ma supponghiamo per poco che l'acqua non vi corresse, e che in vece per un mezzo qualunque venisse rattenuta, o anche meglio che il cubo di marmo si annichilasse, altro di esso non rimanendo che i suoi sei lati, i quali avesser forza di mantenere l'acqua dalle sei parti corrispondenti; questo volume nel quale non v'è marmo, non acqua o alcun altra materia, è lo *spazio*, e questo spazio da prima occupato dal marmo lo possiamo del tutto privo di materia considerare. È questo appunto quello che parecchi metafisici dissero *spazio puro*, e che i fisici spazio vôto hanno chiamato. Noi finora l'abbiamo considerato in piccola estensione, ma quello che dicesi di un sol metro può egualmente dirsi di volume maggiore. Possiamo infatti supporre che un monte dalla cima fino alla base si dilegui, e frattanto la nostra mente terrà ancora la idea del volume; o vogliam dire, dello spazio che esso occupava. Nè poi diversamente andrebbe la cosa se dell'intero globo terrestre si ragionasse. E per immaginare il volume di questo non si dovrà maggior fatica durare di quella che si richiede per pensare al volume di una palla da trucco o da cannone.

Al di sopra del nostro capo sta l'atmosfera, ed al di sopra di questa il vôto del cielo. Potrà il nostro pensiere elevarsi in quelle regioni, potrà stancarsi a percorrerle secondo tutte le direzioni, troverà in quegli spazi, disseminati alcuni corpi come la terra, alcuni astri sopra i quali potrà soffermarsi alquanto, ma quali distanze scorgerà tra questi, quale abisso troverà oltre di essi! La volta celeste è una illusione, essa non è alcun che di solido; ma sia pure adamantina, il pensiero la penetra, si caccia al di là, e lo spazio continua oltre di questa ed anche oltre le stelle: allora si renderà certo esser cosa impossibile il porre confini allo spazio, perocchè per quanto grande voglia immaginarselo, potrà sempre considerarlo maggiore. Dunque lo spazio è indefinito per noi, e però in se stesso infinito (2).

3. *Del tempo*. Si suole comunemente dire, acquistar l'uomo l'idea del tempo mercè l'osservazione de' fenomeni della natura. Così su cedendo all'inverno la primavera, alla notte il giorno, viene a generarsi in noi, alcuni dicono, l'idea della successione: l'acqua che scorre succede a quella che è già scorsa; la bassa all'alta marea, ed ecco la idea del tempo. Ma al presente per noi non v'ha d'uopo di fenomeni esteriori, o di alcuna impressione, fatta sugli organi, per aver l'idea del tempo, imperciocchè avendo dei

(1) « La fisica, dice il Despretz, si versa intorno ai cambiamenti passaggieri a' quali i corpi sono soggetti tanto per la loro scambievole influenza, quanto per l'azione del calorico, dell'elettricismo, della luce ec. Noi vedremo che questi cambiamenti generalmente riduconsi a certi movimenti più o meno sensibili.

« Il Peclet dice: La fisica ha per obbietto di studiare le proprietà generali de' corpi inorganici che possiamo vedere, toccare, pesare, e quella di alcuni fluidi che sembrano privi di gravità, l'esistenza de' quali può ammettersi come una ipotesi probabile: tali fluidi sono magnetico ed elettrico, e la luce.

« La fisica finalmente secondo Lamé considera specialmente le proprietà generali de' corpi ed i fenomeni che non inducono de' cambiamenti durevoli nella intima composizione di essi, ma che sembrano dipendere da alcuni agenti universali, de' quali uopo è conoscere le leggi e le definizioni.

(2) Quest'ultima illazione non discende logicamente dalle premesse. Troppo dovrei allargarmi in parole se volessi toccare appena le tante diverse opinioni de' filosofi e de' fisici intorno alla idea dello spazio ed alla esistenza di esso. Chi non sa i pensamenti di Cartesio, di Clark, di Newton, di Condillac, degli Scozzesi, di Kant, e d'infiniti altri? « Mi asterrò dunque di parlare della estensione pura necessariamente una, necessariamente triplice nelle sue dimensioni, oceano immenso in cui astretti sono a nuotare tutti i corpi, come lo è l'immaginativa ad immergervi tutti quelli che crea; oceano in cui hanno fatto naufragio le specolazioni di tanti sottili ingegni. Lo spazio è il luogo dei corpi, che in esso veggonsi essere e muoversi, come nel tempo veggiamo accadere tutt'i naturali fenomeni; ma lo spazio puro non dee più confondersi coi corpi, che il tempo co' fenomeni che in esso avvengono. Lo spazio ed il tempo si suppongono dal fisico come dati, ma egli si astiene dal sottoporre alle sue ricerche queste concezioni sublimi, sì familiari e sì ammirabili all'umano intelletto, che congiungono il finito all'infinito, il mondo corporeo all'incorporeo, e sembrano misteriose ed enigmatiche rivelazioni di quella eterna immensità.

Ove s'appunta ogni ubi ed ogni quando.

pensieri, ed essendo questi rilevati dalla coscienza, dobbiamo necessariamente avere l'idea della successione e della continuità, essendo successivo il nostro pensare. Vero è che questi fenomeni interiori non ci dan mezzo da numerare le ore, i giorni, e gli anni, ma avere la idea del tempo ed avere a mano i mezzi per poterlo misurare, son cose assai diverse. Ogni moto potrebbe cessare, gli astri sospendere il loro corso, rimaner fisse le nubi, immote le acque, e frattanto in mezzo a questa universal quiete, noi sapremmo ancora potersi il tempo suddividere, tuttochè sprovveduti di ogni mezzo atto a misurare cosiffatta suddivisione.

Le idee del tempo e dello spazio si rinvengono in tutte le nostre percezioni, in tutte le nostre idee; il nulla è per noi una cosa inconcepibile, e quando ci studiamo di farcene un'idea, dobbiamo almeno immaginare lo spazio ed il tempo (1).

4. *Della materia e de' vari stati dei corpi.* L'idea dello spazio è compiuta ed è a se stessa sufficiente, vale a dire noi possiamo immaginare lo spazio senza esser costretti a supporvi entro alcuna cosa; ma da ciò non segue che questa sia una idea esclusiva, talchè con essa non potessimo alcun'altra associare, imperciocchè noi possiam ideare l'impenetrabilità nello spazio, ed ecco la materia. Allorchè dunque si dice, la materia esser fornita di due proprietà essenziali, l'estensione cioè, e la impenetrabilità, si parla con poca precisione, perciocchè queste invece di essere proprietà della materia ne sono la definizione (2).

In somma noi concepiamo la impenetrabilità, e questa diciam materia (3).

Potendo noi immaginare lo spazio limitato e indefinito, possiam parimente figurarci limitata o indefinita la impenetrabilità, possiam considerarla in piccolo spazio come in una goccia d'acqua o in volume grandissimo come nel globo terrestre. E qui cade in acconcio di formare una altra idea fondamentale: noi possiam considerare la impenetrabilità continua ed inseparabile, o discontinua e quindi separabile. La impenetrabilità inseparabile dicesi atomo. Nell'idea dell'atomo non s'include quella di dover esser grande o picciolo, come neppur quella di una determinata figura. Possiamo immaginare un atomo picciolissimo o grandissimo, di figura sferica, cubica, acuminata o di qualsivoglia altra che può creare la immaginazione. Noi però non supponghiamo affatto essere il mondo intero un grande atomo, e tutta la materia mondana di un sol pezzo, imperocchè veggiamo la terra e la luna esser due frammenti di materia distinti, ed alla superficie della terra scorgiamo generalmente i corpi infrangersi e le parti di essi disgiungersi, il che dietro la nostra definizione ci dimostra la terra non esser mica un atomo. Tocca poi all'esperienza d'istruirci sul rimanente, e tutt'i dati di questa ci guidano a conchiudere, non esser la materia indefinitamente capace di separazione di parti, ma esservi un certo limite molto più in là di quello assegnato a' nostri sensi, ove ritrovar si debbono particelle di grandezza finita del tutto inseparabili, le quali perciò veramente atomi son da reputare. Questa opinione sembra particolarmente dalle moderne scoperte venire confermata, ed è quella che ora è esclusivamente accolta. Noi dunque ammettiamo l'esistenza degli atomi come una verità fondamentale che ci dovrà servire quasi di regola nelle nostre investigazioni. La riunione di più atomi dicesi *corpo*. Avranno i corpi, generalmente parlando, maggiore o minor volume secondochè maggiore o minor numero di atomi conterranno (4); essi appariranno diversi se gli atomi saran diversamente disposti; crescerà la differenza se gli atomi varieranno per figura e

(1) L'idea del tempo non ha recato minor molestia a' metafisici di quella dello spazio: Kant ne fece un modo della sensibilità interna, e Lucrezio fin dai suoi tempi cantò:

Tempus item per se non est, sed rebus ab ipsis
Consequitur sensus, transactum quid sit in aevo,
Tum quae res instet, quid porro deinde sequatur.

(2) Si potrebbe forse dire con egual ragione che essendo l'estensione e l'impenetrabilità le sole proprietà essenziali alla materia, perciò queste debbono esser notate nella definizione (V. Lamé *Cours de Phys.*, e Pianciani *Inst. fis. chim.*), e che le altre delle quali si parlerà fra poco son da considerare semplicemente come proprietà generali. Del resto ciò che l'autore dice corrisponde a quel che prima di lui avea pur detto il Galluppi, così scrivendo ne' suoi Elementi di filosofia: « Non si parla con esattezza allorchè si dice: il corpo è esteso, impenetrabile ec., si dee dire: il corpo è l'estensione impenetrabile ».

(3) Dicesi impenetrabilità la incapacità di potere due corpi occupare lo stesso spazio nel medesimo tempo. Quantunque la impenetrabilità si percepisca insieme col corpo, pure alcuni fatti sembrano distruggerla. E per verità se tutt'i corpi, come si dirà, si possono comprimere, se in molti miscugli ed in parecchie combinazioni si ha nel composto un volume minore della somma de' volumi de' componenti, se in molti casi si ha assorbimento di un liquido o di un gas senza alcun sensibile aumento di volume, pare che la impenetrabilità ci sfugga; ma se si porrà mente alla porosità, che, come si vedrà da qui a poco, è da considerare come generale proprietà de' corpi, non si durerà molta fatica a spiegare tutti questi fenomeni, i quali, come dice il Biot, anzichè distruggere la impenetrabilità, mirabilmente la confermano.

(4) Si deve intendere del volume reale, e non dell'apparente.

per grandezza; e finalmente se gli atomi differiranno per la loro intima sostanza, i corpi saranno essenzialmente diversi (1).

In un volume di un dato corpo qualunque, come per esempio in una sfera d'oro, non è da supporre esser tutti gli atomi disposti nella medesima guisa, e tutti tra essi ad egual distanza, ma piuttosto par che convenga supporre, parecchi atomi essere insieme aggregati da costituire ciò che suol dirsi una molecola, ovvero una particella; che le molecole siano poi aggruppate per dare al corpo la sua peculiare struttura ed integrità. Onde due molecole generalmente parlando distano fra loro più degli atomi che le compongono. Ecco dunque il significato che conviene dare alle voci molecole o particelle le quali son quasi sinonime, sebbene alcune volte siano prese sotto di altro senso come quando dicesi: le molecole dei corpi sono scosse dall'urto, esse mettonsi in vibrazione ne'corpi sonori, dilatansi per lo calorico, son penetrate dalla luce ec.; in questi casi non si vuole intendere a rigore di ciascun aggregato di atomi in particolare, ma in modo generico delle piccole parti che si concepiscono essere nell'interno del corpo e che colla mente separansi. Da ultimo allorchè si frange un corpo facciamo anche uso della voce molecola per indicare le minime parti di esso.

Noi distinguiamo tre differenti stati di corpi, in mezzo alla grandissima varietà sotto la quale gli osserviamo: essi o son solidi, come le pietre, i metalli ed i tessuti organici; o sono liquidi, come il mercurio, l'acqua, l'alcool ed i liquidi degli esseri viventi; o finalmente sono gassosi, come l'aria. I liquidi ed i gas alle volte si chiamano con voce comune fluidi. Giova poi conoscere che un medesimo corpo può ritrovarsi alcune volte solido come il diaccio, altre volte liquido come l'acqua, e sovente gassoso come i vapori. In quali casi e sotto quali condizioni siffatto mutamento di stato possa avvenire, di corto diremo; ci basti per ora lo indicarli, essendo noti a chicchessia, ed anche perchè col porvi mente si acquista l'assuetudine di addentrarsi nei corpi e persuadersi esser questi unione o raunamenti di atomi, i quali son separati gli uni dagli altri e mantenuti a diverse distanze, e finalmente esser possibile che senza neppure toccarsi si possan comunicare pressioni e movimenti.

5. *Delle forze.* Se gli atomi fosser semplicemente avvicinati gli uni accanto agli altri, non solo non potrebbero produrre un corpo solido, ma neppur altro corpo della natura, perocchè farebbero appena un cumulo incoerente, ad un mucchio di polvere o arena perfettamente simile. Se un pezzo di ferro o di pietra son corpi solidi e resistenti, convien che siavi qualche cosa che mantenga gli atomi riuniti, fermando ciascuno al proprio luogo. I corpi si romperebbero senza sforzo veruno, o forse meglio non vi sarebber corpi, ma polvere, se gli atomi per qualche mezzo non fossero insieme collegati. Adunque in un pezzo di ferro considerar possiamo ciascun atomo stretto contro gli altri contigui, in quella guisa appunto che un masso di pietra è spinto contro del suolo: e siccome per alzare la pietra richiedesi uno sforzo, così una forza maggiore o minore converrebbe adoperare per distaccare un atomo, qualora si potesse discernere. Alle cause di cotali pressioni o vogliam dire azioni scambievoli, che le diverse parti della materia le une sulle altre manifestano, si è dato generalmente il nome di *forze*: così v'ha delle forze le quali operano sugli atomi del ferro, gli spingono gli uni verso gli altri, fermando ciascuno al proprio luogo. Similmente v'ha delle forze le quali operano sulle molecole di tutt'i

(1) A tutti è nota la vecchia opinione sulla omogeneità della materia, la quale col nascere della chimica par che sia volta in obbl o. Secondo questa opinione la diversità de'corpi dipendea unicamente dalla diversa modificazione che la materia avea ricevuto; talchè il sasso non per altro differiva dall'oro, se non perchè in quello la stessa materia era modificata in una guisa, ed in questo di un'altra. Secondo l'autore la diversità de'corpi può dipendere o dalla varia disposizione degli atomi, o dalla varia figura e grandezza de'medesimi, o finalmente dalla diversa natura di essi. Infatti se come quasi tutti i chimici insegnano, il carbonio puro non differisce essenzialmente dal diamante, nell'atto che appariscono molto diversi; questa diversità dovrà naturalmente dipendere dalla varia disposizione degli atomi (*V. Journal de Physique* T.73. *Annal. de Ch. et de Phys.* T.24.). Del resto generalmente parlando forse potrebbe dirsi la differenza tra i così detti semplici chimici dipendere dalla diversa natura degli atomi, e la differenza dei corpi composti risultare o dalla diversità dei componenti, come l'acqua e l'acido nitrico, o dalla diversa proporzione dei medesimi componenti, come il proto-cloruro ed il deuto-cloruro di mercurio, i quali sol per la varia proporzione tra il cloro ed il mercurio appariscono differentissimi nelle proprietà.

Si noti da ultimo che l'autore segue l'ipotesi del così detto sistema *atomistico*, escogitato dagli antichi ed ampliato da'fisici inglesi, francesi, ed italiani, il quale si oppone al sistema *dinamico*, accolto e sostenuto in Alemagna da coloro che seguitarono Kant. Secondo quest'ultimo sistema la materia riempie lo spazio senza interruzioni mercè le sue forze attrattive e ripulsive, dal contrasto delle quali dipende la varia densità o solidità de'corpi, e la compressibilità e dilatabilità sono le proprietà che essenzialmente alla materia competono. Il Ficber per altro quantunque tedesco consiglia di non seguitare nè l'uno nè l'altro sistema, perocchè la intima natura de' corpi, egli dice, ci sarà sempre ignota (Ficher *Phys. méc.*).

corpi solidi, dando alla parte interna di questi una struttura speciale, ed una figura permanente alla parte esterna. Finalmente siccome ogni corpo ha una certa sua particolare maniera di essere, ed avvi tra le sue parti una dependenza speciale, quindi si può inferire che quante volte molti atomi trovansi riuniti, spiegasi sempre tra essi una scambievole azione, mercè la quale si spingono vicendevolmente e prendono una data disposizione.

Anche i liquidi, quantunque mobilissimi, hanno questa dependenza tra le parti contigue: così una goccia d'acqua suol prendere sempre una data figura, sia che si vegga sopra una superficie, o forse meglio sulle piante ove disponesi in forma di rugiada, sia che si guardi pendente dalle parti estreme dei corpi. Questa peculiar figura che prende, è il risultamento delle azioni delle molecole che la compongono, perocchè se così non fosse, le molecole resterebbero indipendenti le une dalle altre e separatamente cadrebbero.

L'aria, tuttochè invisibile e sottilissima, non va esente da questa legge generale. Essa è impenetrabile, percioechè viene chiusa in una vescica, in un pallone, o in altro recipiente qualunque. Dunque essa è ugualmente composta di atomi o di molecole, e le sue parti spiegano una azione vicendevole le une sulle altre: e tra gli svariati fenomeni che valgono a comprovare siffatta verità, prenderemo quello della respirazione che può essere da ciascuno osservato. L'aria esterna entra nel polmone secondo che il petto si allarga per riceverla; in tal modo le molecole di fuori operano sulle molecole di dentro, quelle spingendo queste per costringerle ad entrare; e quando l'aria è entrata nel petto, le molecole che trovansi al di dentro reagiscono le une sulle altre per riempirne tutta la capacità, precisamente como farebbero per espandersi nell'ampiezza di un vaso anche grandissimo.

Coleste forze le quali perennemente spiegano la loro efficacia entro de' corpi o tra le vicine molecole, o tra tutti gli atomi da' quali ciascuna molecola si compone, forze molecolari o anche attrazioni molecolari vengon chiamate: potrebbero invece dirsi azioni molecolari o forze atomistiche, o anche forze costitutive de' corpi, perocchè esse veramente son quelle che danno a ciascun corpo la propria costituzione e la sua peculiare maniera di essere. Avremo altrove occasione di esaminare se siavi una sola di così fatte forze, o ve ne siano più che fra lor si oppongono, ora con pari efficacia ed or ciascuna a sua posta diventando dell'altra maggiore o minore.

Oltre le forze molecolari avvene anche delle altre di diversa natura. I corpi abbandonati a se stessi cadono; i fiumi perennemente scorrono; il sole sembra che giri sempre intorno alla terra. Ecco alcuni movimenti che noi osserviamo, e frattanto giudichiamo fra noi stessi poter la materia esistere senza che tali moti fossero prodotti. Questi dunque son da reputare effetti accidentali di certe date cagioni. Queste cause mercè le quali i corpi passan da un luogo in un altro, ovvero ricevono un *moto* di traslazione, vengon dette anche *forze* o *potenze*. Queste al certo sono analoghe alle forze molecolari le quali in taluni casi producono anche dei moti di traslazione; ma ciò non ostante sogliousi generalmente da queste distinguere come appresso vedremo.

6. *Della quiete e del moto*—Le idee della quiete e del moto sono, come l'idea della impenetrabilità, semplici e primitive, le quali non possono essere decomposte nè definite. Ciascuno sa in che consiste il moto e la quiete; si può fare sì che tali cose vengano intese in un modo più generale e fecondo, ma non si può in alcuna lingua spiegarle se non per vocaboli sinonimi. Tosto che noi ci abbiam formata l'idea dello spazio e di noi stessi, immediatamente ci consideriamo come nel centro dello spazio indefinito che all'intorno di noi dispiegasi, e veggiam nascere in noi le idee di direzione, di distanze e di situazioni relative. È forza guardare il cielo per *orientarci* relativamente al sole ed agli astri, ma il sentimento di noi stessi ci basta per *orientarci* relativamente a noi; e se non vogliamo tutto confondere, distingueremo certamente lo spazio che abbiamo d'innanzi da quello che è al di sopra del nostro capo, o sotto i nostri piedi, nè confonderemo lo spazio che abbiamo dal lato destro con quello che abbiamo dal lato sinistro. Colui che abbia menato sempre i suoi giorni fra le tenebre, sia sulla superficie della terra, sia nel fondo di sotterranea caverna, ignorerà l'oriente, l'occidente o i poli del mondo, cose che si riferiscono alla vista del cielo, ch'ei non conosce; ma egli non ignorerà punto lo spazio, anzi col pensiere lo partirà in diverse regioni che a se stesso riferisconsi; vale a dire in regioni laterali, anteriori e posteriori, alte e basse. Noi possiam prescindere dalla esistenza della materia, ma non dalla nostra; ed avendo acquistata l'idea dello spazio, possiamo di leggieri immaginare che nessun cambiamento avvenga in noi o intorno a noi; ed ecco l'idea della *quiete* e della quiete *assoluta*: perocchè dicesi quiete assoluta la permanenza del corpo nello stesso luogo dello spazio. In simil guisa facile ci sarà il figurarci un cambiamento di luogo, perocchè possiamo supporre

di andare innanzi o indietro, da un lato o dall'altro, sopra o sotto per quelle regioni ideali, ed in tal caso noi abbiamo l'idea del moto e del moto assoluto, perciocchè dicesi moto assoluto il cangiamento di luogo di un corpo che avviene realmente nello spazio.

Nel moto conviene por mente a due cose essenziali; alla sua direzione, ed alla sua lentezza o rapidità, che non si dee confondere con la velocità della quale di corto parleremo. Se il *mobile*, o il corpo che muovesi, va per una linea retta, il moto dicesi rettilineo, e la retta percorsa è la direzione del moto; al contrario, se il mobile percorre una curva qualunque, il moto dicesi curvilineo, e si suole anche dire, la curva che descrive, essere in generale la direzione del moto. Ma in quest' ultimo caso per esprimere la sua direzione in un istante qualunque, conviene por mente che tra due punti di una curva, si possono menare infinite tangenti o linee rette, le quali toccan solo la curva; ed allora il mobile trovandosi in pari tempo sulla tangente e sulla curva, si dice, la tangente sulla quale trovasi, essere la direzione del suo moto. Onde nel moto curvilineo il mobile cambia continuamente direzione, e se abbia descritto un intero cerchio sarà veramente passato per tutte le direzioni possibili. Per ciò che riguarda la lentezza o rapidità del moto, dicesi tanto in meccanica, quanto nel comune linguaggio, che un moto è più lento quando il mobile percorre meno spazio in un dato tempo, e che è più rapido quando nello stesso tempo scorre spazio maggiore. Solo conviene avvertire che dati due moti, quello che sarebbe più lento, prendendo in considerazione, per esempio, lo spazio percorso in un minuto secondo, potrebbe essere il più celere se si considerasse lo spazio percorso in un'ora o in un giorno, perocchè di leggieri si comprende, il moto potersi col tempo accelerare o ritardare.

La quiete assoluta ed il moto assoluto son semplici vedute di nostra mente, niente essendovi in questo mondo di assoluto per noi, essendo ogni cosa relativa e condizionale: in guisa che tutti gli obbietti che sulla superficie della terra sembranci assolutamente immobili, sono in una quiete relativa. Gli alberi sono in quiete considerati in relazione a' monti, e questi relativamente al suolo; ma gli alberi ed i monti sono insieme con noi trasferiti nella grande orbita del nostro pianeta, e tutti uniti in un minuto secondo percorriamo uno spazio dieci volte maggiore di quello che nello stesso tempo percorre una palla di cannone. E tuttochè andiamo così veloci per lo spazio celeste, non possiamo giudicare di nostro moto assoluto, perciocchè converrebbe sapere se il sole stia fermo nel centro del sistema planetario. Or sembra assai probabile, il sole portar seco i pianeti, come la terra la sua atmosfera, le sue piante, i suoi monti. È da riguardare il sole come un pianeta impercettibile di un altro sole intorno al quale compie il suo giro, e questo sicuramente aggirerassi intorno ad un altro, senza che sia possibile neanche d'immaginare un centro fisso intorno al quale tutti compier debbano le loro rivoluzioni.

7. *Dell'inerzia*. In due modi si posson riguardare le forze che operano sulla materia inorganica. Puossi in prima supporre, aver esse una esistenza propria, cioè che sian fuori della materia, ed indipendenti da essa; o pure può dirsi che siano alla materia inerenti, ed in origine date ad essa come proprietà permanenti. Queste due ipotesi riduconsi in ultimo risultamento a dire la stessa cosa; ma sia qualunque l'idea che si voglia adottare intorno alla origine ed alla maniera di esistere delle forze, resteranno sempre veri parlando di queste e della materia, due principi fondamentali nascenti da tutt'i fenomeni che la natura produce sotto i nostri occhi, e che da tanti secoli rinnova perpetuamente. E siffatti due principi costituiscono ciò che dicesi *inerzia* della materia. Il primo è che ogni forza operante sulla materia, se cessa di operare dopo un dato tempo, questa dura nel suo stato di quiete o di moto. L'altro principio è, che tutte le forze procedono secondo alcune leggi invariabili. Dal primo degli enunciati principi segue, un atomo di materia da se non potersi muovere, nè alterare il moto ad esso comunicato: e se tra due atomi addiviene che l'uno possa porre l'altro in moto, mercè l'attrazione, o generalmente per le azioni scambievoli, come interviene a' corpi abbandonati a se stessi, ne' quali s'ingenera un moto per l'attrazione della terra, allora dal secondo principio risulta, un cotal moto prodursi secondo una determinata legge, la quale, per quanto sia a memoria d'uomo, non venne mai alterata. E però tutt'i cambiamenti che accadono alla materia, sia sullo stato di essa, sia nel suo moto o nella sua quiete, convien che a certe cagioni o forze particolari si attribuiscano: qualche volta a nuove forze sopravvenute in un attimo, e spesso anche a forze permanenti che continuano ad operare secondo le immutabili leggi alle quali van soggette. Se un corpo si rompe o si muove, se si rende più duro o più molle, se divien caldo o freddo, se divien liquido o si scioglie in vapore, ciò intervenir dee mercè di una causa la quale ha ingenerate siffatte modificazioni. Non è mai accaduto di vedere che una pietra siasi da se spezzata o innalzata dal suolo, o siasi fatta più dura o più molle, calda o fred-

da, liquida o ridotta in vapore, senza alcuna causa. Se si tagli il filo cui si mantien sospeso un corpo, questo si vedrà cadere con moto accelerato. Richiedeasi una causa per farlo cadere, e questa, operando in tutto il tempo della caduta, accelera il moto mercè ripetute azioni. La terra percorrendo la sua orbita intorno al sole soffre delle continue variazioni, ora accelerando ora ritardando il suo moto, e frattanto in queste variazioni non v'ha niente di accidentale, di fortuito, o d'imprevisto. È sempre la stessa causa che ingenera tali moti, ma è una causa che varia nella sua efficacia, e per la legge di queste variazioni l'equilibrio del mondo si conserva (1).

CAPO SECONDO

PROPRIETA' GENERALI DE' CORPI.

Divisibilità. — Porosità. — Compressibilità. — Elasticità. — Dilatabilità.

8. Proprietà generali de'corpi diconsi quelle che son comuni a tutt'i corpi, sian solidi, liquidi, o gassosi. Di tali proprietà quelle che convien conoscere nel cominciare la fisica sono

1° La divisibilità;
2° La porosità;
3° La compressibilità;
4° L'elasticità;
5° La dilatabilità.

Osserviamo a prima giunta che queste dipendono dalla maniera onde sono conformati i corpi e dalla interna disposizione delle particelle costituenti i medesimi. Se i corpi non fosser composti, non sarebbero nè divisibili, nè porosi, nè compressibili, nè aver potrebbero quella forza di ripristinamento nella quale consiste l'elasticità, nè il potere di aumentare di volume nel che consiste la dilatabilità. E però non sarebbe ben detto, esser queste proprietà generali della materia, perciocchè esse non possono in alcuna maniera competere agli atomi, considerati a modo nostro d'intendere, e secondo gli abbiamo non ha guari definiti: queste dunque son proprietà de'composti e non già de'componenti.

9. *Divisibilità.* Ogni corpo può essere diviso in più parti, e queste in altre parti minori, finchè poi sfuggano a'nostri sensi ovvero a'nostri strumenti. Questa proprietà generalmente considerata da ognun si comprende: non avvi infatti chi non sappia, le verghe di metallo rompersi sotto una certa pressione, spezzarsi le pietre a' colpi di martello, ed il diamante, il più duro ed inalterabile fra i corpi conosciuti, potér esser ridotto in polvere finissima capace di forbirne la superficie. Ma quello che noi dobbiam cercare, e che ha dovuto muovere, la curiosità de'più antichi osservatori, è appunto di conoscere se tutt'i corpi sian realmente divisibili, e se tutti lo siano all'estremo grado di sottigliezza cui possono arrivare le nostre percezioni.

Trattandosi de'corpi liquidi come l'acqua, egli è chiaro potersi dividere e suddividere in parti

(1) Taluni han detto, consistere l'inerzia in quella tendenza che hanno i corpi a rimanere nello stato nel quale trovansi, sia di moto, sia di quiete; ed altri definiscono l'inerzia per la indifferenza che ha la materia tanto per lo moto, quanto per la quiete. I primi han fatto della inerzia una forza per la quale la materia reagisce contro le forze che tendono a metterla in moto o in quiete. Ecco sul proposito ciò che scrive il dotto Pr. Gerbi; » Taluno ha creduto che » questa inerzia sia una forza reale inerente alla materia, e che presenti una resistenza effettiva alla » forza che agisce sul corpo per rimuoverlo dal suo » stato. Ma altri considerandola sotto un aspetto ben » più semplice, opinano non esser ella che la passiva attitudine della materia a ricevere la forza » che produce la mutazione del suo stato; e l'effetto » attribuitole non essere che la comunicazione della » forza da corpo a corpo; per la quale comunicazione il corpo agente ne perde, il paziente ne acquista una porzione eguale. Il corpo paziente non diminuisce la forza dell'agente, distruggendola con » opporle una resistenza, ma solo ricevendola in se: » come per es. un vaso vôto posto in comunicazione » con un vaso pieno d'aria o di altro fluido elastico, » diminuirebbe il fluido contenuto in questo vaso, » con riceverne, non con distruggerne una porzione. » E vero che percuotendo con la mano un corpo in » quiete, o in un moto men celere di quello della » mano o movendo con uno strumento qualche corpo, ne sembra sentire una resistenza. Ma ciò non » è che una illusione; e intanto restiamo illusi in » quanto si produce sulla mano o immediatamente » o per mezzo dello strumento quella medesima impressione che si produrrebbe, se, essendo essa in » quiete, venisse il corpo ad urtarla o immediatamente o per mezzo dello strumento, con un moto » in senso opposto». Supponete in fatti che vogliate dare ad un corpo 10 gradi di moto urtandolo con la mano, o che nella stessa guisa vogliate arrestarne un altro simile animato anche da 10 gradi di moto: voi tanto nell'uno quanto nell'altro caso dovete provare la stessa sensazione, perchè la stessa forza dovete adoperare; ma il moto nel primo caso trovasi nel corpo urtato e non è distrutto; al contrario nel secondo caso la forza si è distrutta dall'altra opposta; nel primo caso dunque non vi è stata resistenza, ma si bene nel secondo. Quel che dunque da altri si è detta forza d'inerzia, deve dirsi una illusione nascente dalla impenetrabilità della materia e dalla comunicazione del moto.

Del resto il concetto dell'inerzia è diverso nella mente de'fisici meccanici che pongono la materia e le forze come due esistenze ed in quella de'dinamici pe'quali ogni sostanza è forza.

si tenui, da essere le minime che il tatto possa sentire, e l'occhio vedere, imperciocchè osservando tali corpi noi non ravvisiamo sulla superficie di essi alcuna ineguaglianza, ed immergendovi entro la mano non ci riesce di distinguere col tatto le molecole componenti i medesimi, nella guisa appunto che sentiremmo fra le dita le particelle di arena.

Ma parlando de'corpi solidi non possiamo con eguale facilità della grandezza o tenuità delle ultime particelle giudicare. Non v'ha alcuna ragione per asserire non esservi in natura alcun corpo il quale, diviso fino ad un certo limite, non sia più capace di ulteriore divisione, e tale che le sue parti elementari, tuttochè alquanto grosse e palpabili, o almeno ancor molto sensibili, non possano punto essere scomposte, o in qualunque modo alterate. E però gli antichi ebber somma cura di sottoporre per quest'oggetto ad esperienza tutt'i corpi da essi conosciuti: ed i moderni che han ricavato dalle viscere della terra molte nuove sostanze, non han mancato di osservare fino a qual termine siano esse divisibili. E dopo tante esperienze han potuto conchiudere, pe'corpi conosciuti non esservi alcun limite sensibile cui arrestar si debba la divisibilità. Ma questa conclusione non si può rigorosamente parlando applicare a tutt'i corpi esistenti; imperciocchè, se l'esperienza sola ci ha potuto menare a questa conclusione, la quistione deve intendersi risoluta solo per que'corpi sui quali furono l'esperienze praticate.

Per la qual cosa non è da reputare assolutamente impossibile che un giorno dalle viscere della terra mandin fuori i vulcani delle sostanze, gli atomi delle quali siano di una sensibil grandezza, e potrebbe anche darsi che corpi cosiffatti si ritrovassero sugli altri pianeti.

Senza venir qui ripetendo tutte le esperienze che sonosi praticate su differenti corpi, recheremo qualche esempio per dimostrare da una parte, che siamo co'nostri organi atti a percepire i corpi fino ad un certo punto di picciolezza, dall'altra che le ultime particelle che cominciano a sottrarsi dal nostro sentire siano ancor composte di numero grandissimo di parti distinte.

Il senso del tatto e quello della vista ci fan conoscere la grandezza degli oggetti, l'odorato ed il gusto avvertonci solo della presenza di essi senza darci alcuna istruzione intorno alla figura dei medesimi: ed è da osservare che per mezzo dell'udito, istrumento sensibilissimo pe'ciechi i quali mirabilmente ne usano per giudicare delle distanze, non possiamo mai giungere ad acquistare l'idea di una data figura o di una certa grandezza o picciolezza.

Il senso del tatto è sparso per tutto il corpo, non solo nella superficie, ma anche al di dentro; nelle diverse parti intanto diversamente si appalesa. Dalla parte interna abbiamo delle vaghe sensazioni de'corpi che ci toccano o ci offendono, e se il toccamento è alquanto continuato, sparisce la sensazione locale, e solo ci resta una sensazione generale e una maniera di essere più o meno incomoda, della quale nè la sede, nè la causa più distinguiamo. E per una simile ragione noi non sentiamo al di dentro del nostro corpo le parti solide come le ossa, nè le parti liquide come il sangue, anche mentre con velocità grandissima esegue la sua circolazione. Dalla parte esterna ogni punto della superficie può sentire distintamente il toccar de'corpi estranei, ma la mano poi è il vero organo del tatto: si sa che per essa noi ci facciamo l'idea dei contorni e delle forme geometriche de'corpi, e che per mezzo di essa noi possiam percepire gli oggetti più delicati. La mano esercitata di un cieco può su di una superficie levigata sentire i granelli di polvere talmente tenui, che molte centinaia di questi posti gli uni presso gli altri, farebbero appena la lunghezza di una linea. Una mano meno esercitata può distintamente sentire un filo di seta o di lana di un solo elemento, e pure questi fili ordinariamente hanno le seguenti dimensioni:

Diametri in millimetri.

Lana comune . . 0^{mm}, 05 o $\frac{5}{100}$ di millimetro.

Merinos : . . . . . 0^{mm}, 02 $\frac{2}{100}$

Seta. . . . . 0^{mm}, 01 $\frac{1}{100}$

I peli della maggior parte delle pelli tenute in maggior pregio, come quelle di castoro, di armellino, stanno per sottigliezza tra il merinos e la seta, e la maggior parte delle varie specie di lane vanno tra il merinos e la lana comune. Questi fili sottilissimi, i quali costituiscono quasi le minime grandezze che possiamo per mezzo del tatto percepire, sono de'corpi assai composti: ognuno di essi ha una peculiare struttura che conoscer possiamo mercè la vista; contiene ciascuno diversi elementi, i quali son preparati dalla nutrizione, segregati dagli organi, e che la chimica può nuovamente separare e porre in chiaro.

Il vetro, il quale è un prodotto dell'arte, ed è composto di parecchie differenti sostanze, può esser ridotto in fili come la seta. Per farne l'esperienza si prenda un tubolino di vetro di picciolissimo diametro e si adatti sulla fiamma di

una candela con la sua parte media, e quando questa è riscaldata fino alla maggiore incandescenza (*rouge-blanc*), si tiri dalle parti estreme come se si volessero separare le due metà; in questo mentre si formerà un filo della lunghezza d'un braccio circa, fino come la seta, e quasi egualmente flessibile e frattanto questo filo di vetro costituisce un tubo avente le sue pareti ed il suo meato per lo quale può passare un liquido.

Noi potremmo spingere molto più avanti l'esperienze che riguardano la nostra sensibilità organica, se i corpi non divenissero soverchiamente flessibili quando son ridotti in fili troppo tenui. Se per esempio un filo mille volte più sottile di un filo di seta potesse avere la rigidezza di uno strale, bello sarebbe l'osservare l'effetto delle sue punture sulle diverse parti della pelle; si conoscerebbe sicuramente che uno strale di questa natura potrebbe attraversare il nostro corpo da parte a parte senza produrci alcuna sensazione, o senz'alterare in modo veruno le funzioni della vita.

Il pulimento che ricevono i corpi è un altro argomento della divisibilità della materia, ed il toccar delle superficie levigate è un'altra pruova de'limiti assegnati al senso del tatto.

L'acciaio ben levigato, i metalli, il diamante, e le pietre preziose, per la mano, sembrano la stessa cosa, toccando questi diversi corpi altro non sentiamo che una superficie geometrica, e frattanto tutte queste superficie son lavorate con la finissima polvere dello smeriglio o del diamante, ed ogni granello di polvere ha dovuto farvi un solco proporzionato alla propria grandezza: ecco perciò alcune cavità o prominenze le quali col tatto non possiamo sentire.

Le ultime particelle di materia che sfuggono al tatto, possonsi ancora con la vista percepire. L'occhio vede sulla pietra paragone le particelle d'oro che servono per saggiarlo, senzachè la più sensibile delle mani possa ravvisarne la presenza. Le bolle di sapone le quali vestonsi sovente de'più vaghi colori, son sottilissime lamine d'acqua, la grossezza delle quali fu dal Newton misurata: esse verso la parte superiore hanno ordinariamente $\frac{1}{10000}$ di millimetro di grossezza e riduconsi ad $\frac{1}{100000}$ allorchè, poco prima di rompersi, mostrano una macchia nera. Le ali trasparenti degl'insetti hanno quasi una egual grossezza, e però esse si adornano de' medesimi colori. Finalmente le piccole lamine di vetro soffiate alla lampada, hanno, con la egual sottigliezza, i colori medesimi: imperciocchè è una legge generale di tutt'i corpi trasparenti, che essi debbansi vestire de' più vivi colori allorchè sian ridotti in lamine della grossezza di un centomillesimo di millimetro; ma, se riduconsi più sottili, divengono invisibili. Una bolla di sapone le cui pareti fosser solo $\frac{1}{1000000}$ di millimetro, non si vedrebbe punto per alcun mezzo, ancorchè avesse un piede di diametro.

Riguardo a'corpi che non si estendono in superficie, e che son grandi per una sola dimensione, quali sarebbero i fili di metallo o i filamenti organici, riuscirebbe assai difficile di assegnare fino a qual termine siano essi visibili ad occhio nudo. Questo termine dipende dalla perfezione dell'organo e dal grado di luce; ma per mezzo delle lenti o de'microscopi, senza esser molto esercitato, e senza avere un organo perfettissimo, si posson distintamente vedere i fili del diametro di circa una millesima parte di un millimetro.

È noto nelle arti usarsi de' fili di rame, di ferro o di argento sottili quanto un capello. Lo stiramento necessario per passarli per la trafila, non permette di farli più sottili, altrimenti si spezzerebbero, ma per mezzo di alcuni procedimenti ingegnosi, applicabili solo a certi metalli, si giunge a fare de' fili più fini di quelli della seta. Il dottor Wollaston ha fatto de'fili di platino aventi il diametro di $\frac{1}{1200}$ di millimetro, vale a dire tali che un fascetto di 120 di questi fili farebbe la grossezza di un filo di seta di un solo elemento. Sebbene il platino sia il più pesante di tutt'i corpi conosciuti, pure un filo di platino lungo 300 piedi avrebbe appena un grano di peso. Per giungere a questo punto, che sembra l' estremo cui possano arrivare le arti, il dottor Wollaston prende un filo di platino della grossezza di $\frac{1}{100}$ di pollice inglese e lo fissa nell'asse di una forma cilindrica avente $\frac{1}{5}$ di pollice di diametro, empie la forma di argento fuso, ed in tal guisa ottiene un cilindro d'argento che ha l' asse di platino: facendolo passare per trafila, i due metalli si distendono egualmente ed i diametri serbano gli stessi rapporti; finalmente quando il filo composto de'due metalli è giunto al massimo grado di sottigliezza, si pone a bollire nell'acido nitrico, il quale scioglie l'argento, lasciando scoverto il filo di platino.

Potendo la materia assottigliarsi conservando una certa superficie, come accade nelle bolle di sapone, o conservando una certa lunghezza, come avviene nei fili di platino, è chiaro potersi attenuare egualmente secondo tutte le dimen-

sioni. Da tutto ciò noi giudicar possiamo, tutte le particelle che ancor percepiamo esser molto composte: ma il regno degli esseri organici più chiare pruove ce ne somministra. È ormai comprovato, non essere il sangue un liquido uniforme quale apparisce alla nostra vista, ma essere composto di un prodigioso numero di globetti nuotanti in un liquido speciale detto *siero*. Una tale scoverta fu fatta quasi contemporaneamente dal Malpighi in Italia e dal Leeuwenhoeck in Olanda verso il 1660, circa quarant'anni dopo che Harvey ebbe dimostrata la circolazione del sangue (1).

Questi globetti sono sferici nel sangue dell'uomo ed in quello de'mammiferi, in quello degli uccelli e de'pesci sono allungati. Le dimensioni de'medesimi variano a tenore delle specie: i più grandi che siansi osservati sono quelli del sangue del *callitriche* d'Africa, i quali giungono ad $\frac{1}{125}$ di millimetro; i più piccoli si rinvengono nel sangue di capra, arrivando appena ad $\frac{1}{350}$. I globetti del sangue umano hanno una grandezza media corrispondente ad $\frac{1}{250}$ di millimetro. Con l'aiuto di questi dati si può conoscere, in una goccia di un millimetro cubico, la quale potrebbe star sospesa alla punta di una spilla, esservi quasi un milione di questi globetti. Generalmente in tutti gli altri mammiferi le dimensioni de' globetti sembrano contenersi tra i due ultimi limiti. Questi globetti non son mica degli atomi, perocchè le azioni chimiche possono scomporli e ricomporli: nè poi si potrà mettere in dubbio la composizione dei medesimi, quando si vorrà por mente, che essi si dividono in molte parti nel servire alla nutrizione, imperciocchè le fibre de'muscoli e quelle degli altri tessuti si compongono di globetti da quelli del sangue differentissimi e di grandezza sempre minori.

Finalmente v' ha degli animali interi la cui grandezza eguaglia quella de'globetti o delle più piccole cose che noi possiamo percepire. Ci è dato è vero di vederli ed esaminarli, ma sono de'minimi per la nostra vista, e gli oggetti più piccoli di questi non hanno pe'nostri sensi grandezza o misura: di qui comincia l'indefinito in picciolezza ove si slancia il nostro pensiere senza trovare un termine per arrestarsi (2).

Oltrepassando questo limite della sensibilità degli organi, non si deve conchiudere il resto essere ipotesi e congetture; imperocchè questi animalucci sono esseri essenzialmente composti di parti; essi sono dotati d'organismo, poichè hanno vita e moto; debbono essere di sensi dotati, poichè hanno e forza ed istinto. Ne'fluidi ne'quali vivono, eseguono de'moti rapidi e vari, come i pesci; dirigonsi verso di un punto, evitano e talvolta superano anche gli ostacoli, hanno finalmente bisogno di nutrimento e sanno cercarlo e sceglierlo. Ci verrà fatto di conoscere, allorchè tratteremo dell'ottica, i costumi delle infime generazioni degli esseri visibili non essere men piacevoli ad osservare di quelli delle classi maggiori: ma per ora possiamo conchiudere, negl'individui impalpabili delle ultime classi esservi delle parti distinte, cioè alcune dure, altre molli, delle maniere di articolazioni pe' moti, ed alcuni meati pe'liquidi; finalmente in sì piccoli volumi aver luogo una nutrizione in tutte le parti, ed una necessaria circolazione. In tal modo il ragionamento continua a fare aperta la divisibilità anche dopo che i sensi hanno finito di attestarcela; ed essendo da tutt' i fenomeni chimici indotti ad ammettere l'esistenza degli atomi, così dobbiamo in ultimo conchiudere, esser questi in gran lunga minori delle ultime particelle che o per mezzo de'sensi più esquisiti, o mercè de'più esatti strumenti possiam percepire.

10. *Porosità*. — Gl'interstizi che trovansi tra le parti di un corpo, diconsi *pori*. Que'diversi buchi che si osservano nella spugna, non sono altro che pori di grandi dimensioni; le maglie più strette che formano il tessuto della medesima, sono de'pori alquanto minori; finalmente tra queste maglie e le fibre che le compongono vi sono degli altri interstizi, i quali, sebbene piccoli a segno da essere invisibili, anche pori si chiamano. Quindi è che quando noi consideriamo una spugna di un determinato volume, come per esempio di un decimetro cubico, possiamo col pensiere cacciarci nella intima composizione di essa, e nella intera sua estensione considerare lo spazio occupato dalle fibre della medesima e quello irregolare e sinuoso che non rimane occupato; dobbiamo anche riflettere che ogni fibra, sia pur sottile quanto un filo di ragno, è composta di parti distinte, e che queste parti sono le une dalle altre separate non altrimenti che le fibre.

Il volume occupato dalla sostanza del corpo

(1) Il Colombi di Cremona, e dopo di lui il Cesalpini, parlarono i primi della circolazione. V. Monti Prolusioni, Rambelli Lettere, ec.

(2) Credo essere inutile il ripetere gli argomenti recati da'vecchi fisici per provare e per combattere la divisibilità della materia all'infinito, e per sostenere la semplicità o la composizione de' primi elementi de'corpi, essendo cose note a chicchessia.

dicesi *volume reale:* lo spazio che il corpo sembra occupare, limitato dalla sua forma esterna, dicesi *volume apparente.* E però il volume apparente diminuito del volume reale dà il volume di tutt'i pori insieme presi. Quando alcuno stringe una spugna, il volume apparente di questa si approssima sempre più al volume reale; ma non si potrà mai comprimere a segno da far rimanere alcuno spazio tra le parti di essa. Segue da ciò, potersi agevolmente comprendere in che consista il volume reale, ma non esser possibile il determinarlo; e però quando noi parliamo del volume, si dee sempre intendere dell'apparente. Quello poi che diciamo di una spugna, può egualmente dirsi di ogni altro corpo, sia qualsivoglia la sua natura, avendo osservato, parlando della divisibilità, esser tutti composti di parti capaci di poter esser separate, e però che si tengono ad una certa distanza le une dalle altre (1). Dunque tutt' i corpi sono veramente fatti come la spugna. L'acciaio ed il diamante che sono i corpi più duri, l' oro ed il platino che sono i più densi, hanno anche un volume apparente; conviene cacciarsi col pensiere entro la massa di questi, per ravvisare tra gli atomi di essi degli spazi di gran lunga maggiori degli atomi medesimi.

Considerando la porosità in questo senso ampio, può ben dirsi, come comunemente si suole, esser porosi tutt'i corpi; ma se si vuole intendere di quella porosità mercè la quale si offre un passaggio ai liquidi o a'fluidi, non sarà più vero che tutt'i corpi sieno porosi, perciocchè parecchi ve n' ha attraverso dei quali non può trapelare alcun fluido, sia quanto si voglia sottile. Questa porosità che permette il passaggio a'corpi estranei, è quella che importa di conoscere per ora; e noi farem vedere con alcuni esempi e con alcune esperienze, esservi molti corpi, anche tra i più densi, i quali s'imbevono di certi fluidi.

I tessuti, i quali sono un prodotto delle arti, non essendo altro che un intralciamento di fibre, non dee recar meraviglia se tra queste vi restino molti spazi attraverso de'quali possano passare i liquidi. Quindi la carta, i feltri, le stoffe, son corpi la cui porosità è generalmente nota. Lo stesso può dirsi de'corpi ridotti in polvere, essendo sempre capaci di esser penetrati dai liquidi: onde avviene che un mucchio di arena trovasi umettato fino alla cima, che il fuoco si mantiene sotto la cenere; perciocchè se l'aria non penetrasse fino su i carboni, questi tosto si estinguerebbero.

I feltri, de'quali si fa uso sovente nelle operazioni chimiche, altro non sono che corpi porosi, i pori de'quali sono sufficienti per far passare i liquidi, ma stretti in modo da trattenere le straniere sostanze nuotanti ne'medesimi.

Tutt'i tessuti naturali, tanto del regno vegetabile, quanto del regno animale, sono parimente porosi: nè convien ricorrere alla esperienza per dimostrarlo, bastando l' osservare che una pianta ovvero un animale da prima non era altro che un germe di tenuissimo volume, essendo tali tutt'i germi; che questi corpi svilppansi a poco a poco; che nella massa dei medesimi non avvi alcuna parte che non abbia vita, perciocchè questi corpi han vita nell' interno egualmente che al di fuori; e che è assolutamente necessario che alcuni fluidi possan circolare per tutte le fibre, affin di recarvi il nutrimento e mantenervi la vita.

V'ha di più de'particolari meati per siffatta circolazione di fluidi ne'corpi viventi, la porosità dei quali egualmente che la organizzazione va soggetta a leggi regolari. Un animale, un albero, non sono sicuramente l'opera del caso, le parti materiali di questi non son disposte in un modo confuso come quelle di un mucchio di arena. Ma neppure il caso ha prodotti i minerali ed i monti, essendo le parti di questi disposte con un certo ordine, e però la porosità tanto nell'uno quanto nell'altro caso è l'effetto di una necessaria disposizione che le forze danno alla materia.

I corpi organici conservano la propria disposizione de'vasi, anche avendo finito di vivere; solo i fluidi di essi, non più essendo, come prima, da particolari forze regolati, penetrano indistintamente attraverso tutt'i pori che incontrano; talvolta questi esalano, ed i corpi viventi disseccansi, come avviene al legno; spesso poi restan col corpo mescolati, ed allora ha origine una fermentazione per la quale questo rimane distrutto.

Il legno immerso nell'acqua cresce di peso e di volume; quello poi che sta esposto all'aria, tanto ne'lavori di edificazione, quanto in quelli di falegname, si restringe ne' tempi asciutti e ne'tempi umidi s'ingrossa; questi sono effetti della grande porosità de'medesimi, e si può tali effetti impedire mercè le dipinture e le vernici.

Gli animali ed i legni impietriti valgono a met-

(1) Ignorando noi la figura degli atomi e la maniera secondo la quale dispongonsi, non è ben fatto il dedurre la porosità dalla divisibilità. Il perchè i fisici son ricorsi all'osservazione ed alle esperienze per conoscere se tutt'i corpi sian porosi, e percorrendo i tre regni della natura han dimostrato essere la porosità una proprietà generale della materia.

tere in piena luce la porosità, perciocchè le sostanze petrificanti debbono insinuarsi in tutta la massa e penetrarne tutte le fibre.

Le sostanze minerali sono più o meno porose, a seconda della varia natura delle medesime e della varia disposizione delle particelle dalle quali sono composte. Le pietre opache, e generalmente quelle le cui parti sono irregolarmente disposte, sono quasi sempre le più porose.

La creta con tutte quelle pietre che diconsi calcaree, hanno la medesima natura del marmo; è la differenza consiste solo nella disposizione delle parti; e questo solo basta a far si che abbian diversa porosità. Allorchè si versa dell'acqua sopra un pezzo di marmo, essa rimane sulla superficie, non essendo punto assorbita. In simil guisa buttando un pezzetto di creta in un bicchiere d'acqua, si vedranno montar su molte piccole bolle, le quali non appariranno se invece della creta si butti nell'acqua un pezzetto di marmo. Cotali bolle produconsi dall'aria che esce da'pori della creta secondochè l'acqua entro di quelli si va mano mano introducendo. E volendosi di ciò una sicura dimostrazione, non bisogna fare altro che rompere quel pezzo di creta che fu tenuto per qualche tempo nell'acqua, ed osservare come esso trovisi imbevuto fino al centro; al contrario il marmo si scorge appena inumidito sotto la superficie. Da ciò non deve conchiudersi che il marmo a lungo andare non si potesse del pari imbevere di acqua, ma solo, che per far penetrare i liquidi nei corpi che non sono porosi son necessarie due condizioni, cioè lungo tempo e molta pressione: quindi avviene che le pietre cavate dal fondo del mare o dei fiumi sono generalmente umidissime, e tanto più se da grande profondità siano portate; perciocchè noi vedremo essere i corpi a tre o quattromila metri al di sotto della superficie delle acque, premuti per lo peso del liquido che sta al di sopra di essi, come se si trovassero sotto di uno strettoio fortissimo.

Tra le pietre silicee, quali sono le agate, le pietre focaie, trovasene una che chiamasi *idrofana*, la cui porosità si appalesa mercè di un fenomeno singolare. L'esperienza è piacevole, perocchè l'idrofana è naturalmente opaca, ma tenuta un poco nell' acqua quando vien tratta fuori è trasparente quasi come il vetro. L'acqua l'ha penetrata siccome l'olio penetra la carta, le bolle d'aria che sonosi sviluppate come nella esperienza della creta, dimostrano l' assorbimento; ed il volume di queste è eguale a quello de'pori nei quali l' acqua ha potuto intromettersi. Ma per determinare con precisione questo volume, uopo è pesare l'idrofana prima di tuffarla nell'acqua e dopo di averne la tratta fuori: la differenza de' pesi indicherà il peso dell'acqua assorbita, dal quale si potrà facilmente conoscerne il volume.

V'ha di molti fenomeni che valgono a dimostrare le grandi masse minerali non esser meno porose delle picciole sulle quali possiam fare esperienze: si sa, per esempio, l'acqua trapelare le pareti di profondissime caverne, e in tal guisa deporre in ogni parte le stallattiti, le stalagmiti, ed ogni altra maniera di cristallizzazione, l'unione delle quali presenta uno spettacolo maraviglioso. È noto egualmente le montagne tagliate in direzione verticale soffrire ogni anno una specie di esfoliazione, dalla quale la porosità deve considerarsi come una delle principali cagioni; imperciocchè i lati di queste battuti dalla pioggia e dal vento assorbono l'umido, il quale, congelato dal freddo invernale, aumenta di volume; dal che risulta una rottura di aderenza in tutti gli *strati* superficiali, i quali al venir della primavera cominciano a staccarsi a poco a poco, e cadono fino all'autunno. Quindi avviene che sotto a'grandi dirupi si accumulano degli strati quasi di eguale grossezza, de'quali si può giovare la geologia per risalire a'tempi primitivi ne'quali le montagne han presa quella disposizione che hanno al presente.

Da ultimo gli stessi metalli danno chiare pruove di porosità. Una sfera d'oro piena d'acqua e fortemente premuta, mostra in tutta la sua superficie delle piccole gocce d'acqua simili a quelle della rugiada. Questa esperienza fu fatta nel 1661 per la prima volta dagli Accademici Fiorentini, ed essendo stata poi spessissimo ripetuta su differenti metalli, sonosi sempre avuti gli stessi risultamenti.

Da tutti questi svariati esempi di porosità, si può conchiudere esservi molti corpi assai porosi a traverso de'quali i liquidi facilmente trapelano, bastandovi il solo contatto; al contrario esservene altri i quali non possono esser penetrati se non dopo di un tempo più o meno lungo, e sotto una più o meno forte pressione; finalmente trovarsene altri a traverso de'quali in niun conto potrebbe un liquido trapelare anche sotto una pressione capace di romperli. È quasi inutile il far osservare che non tutt'i fluidi sono egualmente sottili per poter penetrare i corpi; l'acqua, l'alcool, l'etere, le varie soluzioni acide o alcaline, il mercurio, l' olio, lo zolfo liquefatto, l'aria co' differenti gas, non possono introdursi colla stessa facilità a traverso de'corpi. È una fortuna per le esperienze che il vetro sia impermeabile per qualsivoglia fluido.

11. *Compressibilità.*— La compressibilità è la proprietà che hanno i corpi di ridursi ad un

volume minore allorchè sono da tutte le parti premuti.

I tessuti molto porosi si sa essere anche molto compressibili; così la spugna può esser ridotta ad un terzo, ad un quarto, ed anche ad un decimo del suo volume apparente. La carta, le stoffe, i legni e tutt'i tessuti permeabili a'fluidi, possono egualmente scemar di volume, e perdere mercè la compressione i fluidi che contengono. V' ha nelle arti molte operazioni le quali altro non sono che l'applicazione di questo principio.

Anche le pietre, se a grandi pesi soggiacciono, fino ad un certo segno si comprimono. Fan pruova di ciò le basi delle colonne o degli edifizi sulle quali gravita tutto il peso delle fabbriche sovrapposte.

I metalli battuti a freddo fannosi più densi, perciocchè le particelle di essi stringonsi a vicenda.

Le monete e le medaglie ricevon l'impronta sotto l'azione di un torchio che sollecitamente le comprime: questa pressione è sì gagliarda, da fare su i metalli quello che la pressione della mano potrebbe fare sulla cera; e non solamente mutan di forma in modo da esprimere i tratti più delicati del conio, ma si comprimono in maniera tale che il pezzo coniato ha sempre minor volume di quello non coniato.

I liquidi sono molto meno compressibili dei solidi: l'acqua diminuisce pochissimo il suo volume allorchè vien chiusa in un cilindro di metallo le cui pareti abbian tre pollici di grossezza, e vien fortissimamente compressa. Prima di ridursi a' $\frac{19}{20}$ del suo volume, il metallo scoppia. E noi avremo agio di osservare che essa si comprime appena di $\frac{45}{1000000}$ per ogni atmosfera, e che per fare che scoppii un cilindro di bronzo di tre pollici di grossezza ci vuole la pressione di mille atmosfere.

L'aria ed il gas sono fra tutt'i corpi i più facili a comprimere, e quelli che possono esser ridotti ad un volume minore. E ciò può per via di molte esperienze venir comprovato; ma una delle più semplici è quella dell' accendifuoco pneumatico. Questo è formato da un tubo di cristallo lungo otto o dieci pollici, le cui pareti son molto grosse (*fig.* 1.); dalla parte interna, che è perfettamente cilindrica, muovesi uno stantuffo che combacia esattamente con la cavità cilindrica del tubo. Se questo tubo fosse pieno d'acqua, lo stantuffo non potrebbe scendere, essendo l'acqua appena compressibile; ma essendo pieno d'aria, la forza della mano è sufficiente a far discendere lo stantuffo in modo da ridurre l'aria al quarto ed anche al quinto del primiero suo volume. Si sente crescere la resistenza secondochè il volume dell'aria va diminuendo; ma per quanta forza si voglia adoperare, non si potrà mai riuscire a spingere lo stantuffo fino al fondo del tubo, perciocchè converrebbe distruggere la impenetrabilità dell'aria. Allorchè lo stantuffo si riporta alla sua primiera posizione, l'aria anche riprende il suo antico volume; e però essa non è compressibile alla foggia de'metalli, i quali ricevono le impressioni senza riprendere il loro volume cessata la pressione del torchio.

Gli altri gas hanno la stessa proprietà, e tutti cosiffatti corpi non sono solamente atti ad esser compressi, ma, per effetto della lor forza espansiva, possono anche prendere un volume di gran lunga maggiore.

Se dalla parte superiore dell' accendifuoco pneumatico si ponesse un tubo di egual diametro, ed in vece di premere lo stantuffo si tirasse in alto per entro al tubo aggiunto, l'aria ivi racchiusa si espanderebbe prendendo un volume dieci, cento, mille volte maggiore; anzi pare che non si possa assegnare un limite per cotesta espansione de' gas. Dopo di avere alzato lo stantuffo, si potrebbe ripremerlo, ed il volume si vedrebbe scemare di nuovo; si potrebbe poi un'altra volta alzarlo, e così via via, senzachè l'aria conservasse alcuna traccia de' vari stati di compressione e di espansione pe' quali si è fatta passare. La proprietà che hanno questi corpi di poter occupare un volume centomila volte più grande o più piccolo, senza che le azioni molecolari si sospendano, è veramente degna di alta considerazione.

Premesse tali cose, alcuno forse potrebbe inferirne potersi tutta l'aria atmosferica in piccolo spazio rinchiudere, come per esempio nella capacità di un otre; ma noi vedremo esservi un limite per la compressibilità, sebbene alcuno se ne possa trovare per la dilatabilità (1).

(1) Il volume apparente fu detto semplicemente volume, ed il reale si disse anche *massa*: si chiamò poi *densità* il rapporto tra la massa ed il volume; per il che chiamando M, D, V, la massa, la densità ed il volume di un corpo, si comprenderà che in un dato volume la massa diventerà doppia, tripla ec. se doppia, tripla ec. diverrà la densità; e per una data densità la massa diventerà doppia, tripla ec. se doppio, triplo ec. diverrà il volume: quindi si avrà $M=D \times V$, e quindi $V=\frac{M}{D}$, e $D=\frac{M}{V}$, e se diremo m, d, v la massa, la densità ed il volume di un altro corpo, sarà parimente $m=d \times v$, $v=\frac{m}{d}$ e $d=\frac{m}{v}$, formole che

12. *Elasticità.* — L'elasticità è la proprietà che hanno i corpi di riprendere lo stato primitivo allorchè si fa cessare la causa che faceva cangiare ad essi la forma ed il volume.

L'aria è perfettamente elastica: perciocchè se si preme in una vescica non interamente gonfiata, ritornerà al pristino stato al cessare della forza che la comprimeva: similmente premendo lo stantuffo dell'accendifuoco pneumatico, esso si rialzerà da sè, perchè l'aria compressa lo respinge in alto fino al punto donde si è fatto discendere, non ostante l'attrito. Lo stesso avviene ogni qual volta una cagione qualunque opera su di un gas, perocchè tosto che questa finisce di operare, il gas torna come era da prima. E però i gas diconsi *fluidi elastici*.

I liquidi compressi par che neppure conservino niente della compressione sofferta, perocchè essi col cessare della forza comprimente riprendono tosto il volume primiero.

Non si trova alcun corpo solido tanto elastico quanto i gas ed i liquidi. Il caoutchouc, o gomma elastica, è forse fra tutt'i corpi dotato del più alto grado di elasticità, e pure, o per mezzo del calorico, o mercè di pressioni gagliarde e prolungate o anche per molte volte ripetute, si giunge finalmente a fargli cangiar forma e volume.

L'elasticità de' solidi, sebbene imperfetta, pure è una proprietà importantissima, e però in uno de' seguenti libri verrà da noi compiutamente esaminata. Per ora ci basti il dimostrare con alquante sperienze, la medesima ritrovarsi in tutt'i corpi, ma in diverso grado.

L'elasticità dell'avorio nel moto speciale delle palle da trucco, bastantemente si appalesa; ma in una maniera più propria può dimostrarsi mercè la seguente esperienza: Si lasci cadere una palla ordinaria o alquanto più grande sopra di un piano ben levigato unto leggiermente d'olio; tosto questa rialzerassi rimontando fin quasi all'altezza dalla quale è caduta. Questa al certo è una valida pruova di sua elasticità, ed in conseguenza del suo cambiamento di figura; ma se si osservi il piano nel punto ov'è stato dalla palla colpito, si vedrà un'impronta più o meno ampia secondochè il colpo è stato più o meno energico, il che in una maniera assai chiara dimostra, la palla aver ripigliata la sua figura dopo di essersi depressa, appunto come succederebbe ad una vescica piena d'aria o ad una bolla di sapone, giacchè anche coteste leggerissime sfere possono, urtando contro di un corpo, tornare indietro con moto riflesso senza rompersi. Alle sfere di legno, di pietra, di vetro o di metallo accade presso a poco lo stesso di quello che avviene alle palle di avorio: tutte più o meno comprimonsi prima di rimbalzare, il che dimostra la loro compressibilità; e tutte, quando non sian troppo fortemente compresse, rimbalzando, riprendono la pristina figura, il che dimostra la loro elasticità. Onde nelle operazioni de'corpi elastici è da considerare due fenomeni, quello della compressione o del cambiamento di figura, e quello del ritorno compiuto di tutte le parti al pristino stato. Un foglio di carta, o anche una sottil lamina di piombo, non son del tutto privi di elasticità, perciocchè si possono piegare alquanto senza che si rompano, e riprendendo la primitiva situazione: ma, se si rimuovono un poco di più dalla loro giacitura, si piegano senza mostrare alcuno sforzo per ritornarvi.

L'elasticità nascendo sempre da uno scompiglio di molecole, sia che provenga da compressione o da flessione, sia che abbia origine da torsione o da stiramento, sarà sempre vero esservi per ciascun corpo de'limiti per cotesto scompiglio, e quindi per l'elasticità. E quanto più si estendono questi limiti, tanto più di elasticità manifestasi ne'corpi: onde le palle d'avorio sono più elastiche delle palle di piombo, perchè ripreudono la loro figura dopo una maggiore compressione: le lamine di acciaio son più elastiche di quelle di vetro, perciocchè possono esser piegate di più: i fili di seta sono più elastici di quelli di rame o di argento; perciocchè si possono torcere di più; e le corde di violino hanno de'fili di ferro elasticità maggiore, potendosi quelle stirare molto più di questi, senza perder la efficacia di ridursi alla primitiva lunghezza. Ma se si genererà nelle molecole del corpo quello scompiglio che il proprio stato d'aggregazione permette, esse ritorneranno esattamente alla primiera giacitura; ed in questo senso si potrebbe dire esser tutt'i corpi, nessuno eccettuato, perfettamente elastici.

13. *Dilatabilità.* — La dilatabilità è la proprietà che hanno i corpi di aver vario volume per l'influsso del calorico, cioè maggiore col riscaldarsi, minore col raffreddarsi, ed uguale a quello di prima col ritornar che fanno alla primiera temperatura.

L'aria è tanto facile a dilatarsi, che cresce

potranno servire per determinare i rapporti che passano tra le masse, le densità ed i volumi di due corpi. Volendo per esempio paragonare le masse, si avrà $M : m = D \times V : d \times v$: e se fosse $M = m$ sarebbe $D \times V = d \times v$, cioè $D : d = v : V$. Nello stesso modo si procederebbe per determinare gli altri rapporti.

molto di volume per lo semplice calorico della mano. Volendone far l'esperienza, si prenda un tubo di vetro molto lungo, avente l'interno diametro di due o tre millimetri, e terminante da una parte a sfera. Si può, mercè alcune precauzioni farvi entrare una colonna di liquido colorato la quale si mantenga verso il mezzo del tubo in *m* (*fig.* 2), e separi l'aria interna dall'aria esterna. Disposte così le cose, essendo questa colonna in quiete, si accosti la mano alla sfera, e tosto vedrassi ascendere la colonna del liquido; dunque l'aria interna cresce di volume. Rimovendo poscia la mano, la colonna di liquido si vedrà gradatamente discendere fino a che non riprenda l'antica sua giacitura; il che dimostra che l'aria, col ripigliare la primiera temperatura, ripiglia anche il primitivo volume.

Volendo poi fare la stessa esperienza sopra i liquidi, prendasi un tubo al precedente del tutto simile, e si empia per metà in *m* (*fig.* 3) d'acqua o di mercurio; poi s'immerga la sfera nell'acqua calda, e la colonna monterà sù sino ad *m'*, se al contrario, s'immerga nella neve pesta, la colonna si abbasserà fino ad *m''*; e finalmente salirà fino al punto ove era, se verrà posta di nuovo nell'aria ove da prima trovavasi.

In molte maniere poi possonsi fare l'esperienze pe solidi: una delle più semplici consiste nel prendere una verga di metallo la quale entri esattamente fra due pezzi di metallo posti ad angolo retto (*fig.* 4) sopra una tavola di legno molto grossa. Se la verga si arroventi, si allungherà in guisa che non istarà più fra gli stessi termini; ma vi tornerà col raffreddarsi, in modo che col tornare alla temperatura di prima ridurrassi anche fra gli stessi punti (1).

Quindi tutt'i corpi son dilatabili, e fra tutti quello che fa variare agli altri il volume è il più variabile. In ogni istante del giorno o della notte varia la quantità di calorico, tanto per l'azione de'raggi solari, quanto per mille altre cagioni, e tutti i corpi posti sulla superficie terrestre prendon parte a siffatte variazioni; essi sono or dilatati or ristretti, nè conservan punto invariabili dimensioni come noi supponghiamo. Queste vicissitudini produconsi per un moto delle parti interne ed esterne del corpo; e se la porosità ci dimostra queste parti non toccarsi punto, la dilatazione ci fa aperto esse non esser mai in quiete, nè serbar mai le stesse distanze o la stessa giacitura le une rispetto alle altre. Dal che possiamo finalmente conchiudere, che quella materia che ci sembra la più inerte, è in continua azione in tutta la sua massa, essendo tutte le sue molecole tanto al di dentro quanto al di fuori, soggette a talune cause continuamente operanti, le quali posson sempre variare d'intensione.

CAPO III.

DELL' EQUILIBRIO E DEL MOTO.

Nozioni di statica.

14. Un corpo è in *equilibrio*, allorchè le forze che lo spingono scambievolmente distruggonsi, ovvero allorchè da qualche resistenza restano distrutte. Quindi un corpo sospeso all'estremo di un filo è in equilibrio, perciocchè la gravità che lo spinge è distrutta dalla resistenza del filo e del punto di sospensione: se il filo non sia bastantemente forte, romperassi, ed il corpo cadrà; se il punto ove è legato il filo sia mal fermato, il corpo lo porterà con seco cadendo. Alcune volte si ha equilibrio senza verun punto fisso e senza apparente resistenza; in fatti i pesci più pesanti sono in equilibrio nell'acqua; un *aerostata* con tutt'i suoi attrezzi, con la sua navicella, e con gli osservatori che trasporta, può del pari essere in equilibrio nell'aria: ma in questo caso la gravità che stimola il corpo è distrutta da alcune particolari pressioni delle quali nel seguente capo discorreremo.

Si può ben dire che tutti i corpi i quali sembrano in quiete, siano veramente in equilibrio, perciocchè essi son sempre sotto il potere di più forze che a vicenda distruggonsi.

La *statica* ha per obbietto di determinare le condizioni di equilibrio, e la *dinamica* di determinar le leggi del moto, il quale ha luogo allorchè le condizioni di equilibrio non sono adempiute. La *meccanica* comprende la statica e la dinamica, cioè le leggi dell'equilibrio e del moto.

15. Le forze possonsi misurare prendendo per unità una forza data, come appunto si misurano le lunghezze ed i pesi col prendere per unità una lunghezza o un peso determinato. Inoltre la nozione di grandezza non si applica direttamente alle forze, e però convien diffinire con esattezza che cosa intendasi per *forze eguali, doppie*, ec.

Affinchè due forze dir si possano eguali, convien che si equilibrino allorchè scambievolmente si oppongono, o in un punto o agli estremi di una retta inflessibile. Due forze uguali fanno una forza doppia allorchè si uniscono, cioè

(1) Il Pirometro è l'istrumento del quale comunemente si fa uso per dimostrare la dilatabilità dei metalli.

quando si fanno operare per lo stesso verso e per la stessa direzione; si avrebbe parimente una forza tripla, se tre forze eguali operar si facessero per lo stesso verso; e così via discorrendo.

Premesse tali cose, se si converrà di rappresentare una forza per mezzo di un numero o di una linea, la forza doppia di questa verrà espressa da un numero doppio o da una linea doppia, ec. Onde potremo sempre esprimer le forze per grandezze numeriche o lineari, e far su quelle le operazioni medesime che su queste facciamo.

16. Sia qualsivoglia il numero delle forze operanti su di un punto, e sieno quali si vogliano le direzioni di esse, non potranno in ultimo risultamento imprimere a questo punto che un sol moto secondo una data direzione. Or ciascuno di leggieri comprende potersi dare una sola forza valevole a produrre l'effetto, che dal concorso di molte produrrebbesi; e questa forza unica, che potrebbe fare le veci di tutte le altre, vien detta *risultante*. Così, allorchè un battello muovesi per la forza della corrente, dei remi, del vento, si potrebbe ideare una forza sola, come per esempio un filo ben forte il quale fosse legato al battello e tirato nella stessa direzione con forza tale da imprimere al battello per ogni istante quel moto stesso che tutte queste forze riunite avrebber prodotto, e questa sarebbe la risultante. La corrente, il vento, ed i remi cessando d'operare, e sostituendo ad essi il filo del quale facciam parola, nessun cambiamento avverrebbe in quanto agli effetti.

L'aggregato delle forze che concorrono a produrre un effetto, dicesi un *sistema di forze*; e queste forze soglion dirsi anche *componenti*, allorchè son considerate per rispetto alla risultante che potrebbe venire ad esse sostituita. Egli è chiaro che se ad un sistema di forze una nuova se ne aggiugnesse eguale alla risultante e diretta in contrario, in quel nuovo sistema di forze l'equilibrio si avrebbe. Questo è il distintivo della risultante.

Quindi, nell'esempio da noi scelto, se mentre le forze della corrente, del vento e dei remi spiegano la loro azione, si ponesse un filo ben forte diretto per un verso contrario alla direzione della risultante, e tirato con egual forza, l'equilibrio ne nascerebbe, ed il battello sarebbe più fermo di quando troverebbesi ancorato; esso non potrebbe andare innanzi o retrocedere, nè prendere altra direzione, fino a che o qualche nuova forza, o qualche cambiamento atto a disturbare lo sforzo per lo quale l'equilibrio manteneasi, non sopraggiugnesse.

17. *Risultante di più forze operanti nella stessa direzione.* Allorchè tutte le forze che operano sopra un punto tendono a muoverlo sopra una stessa linea, possono due casi avverarsi: 1.° Se tutte queste forze operano nello stesso verso, la risultante sarà eguale alla somma di esse: 2.° se esse operano le une per un verso e le altre pel verso opposto, la risultante è uguale alla differenza delle due risultanti parziali, ed è diretta pel verso della più grande.

18. *Risultante di due forze che operano ad angolo sopra uno stesso punto.* Due forze operando sul punto *a* (*fig.* 5) l'una nella direzione *ax* e l'altra nella direzione *ay*, la prima rappresentata in grandezza da *ab* e la seconda da *ae*, egli è chiaro che il punto *a* non potrà muoversi per *ab* nè per *ae*, e che debba prendere una direzione intermedia. Tutto ciò viene a prima giunta dettato dal comune giudizio, il quale non ci può dir di più; imperciocchè, per determinare questa direzione media che prender dee la risultante e la intensione della medesima, è forza ricorrere a dottrine le quali noi dobbiamo tacere. Ci contenteremo in vece di enunciare il principio generale della composizione delle forze, perciocchè esso è semplicissimo e di leggieri s' intende. Ecco in che questo consiste: Si costruisce il parallelogrammo *abrc* sulla grandezza delle due forze date, e si tira la diagonale *ar*; questa diagonale esprimerà nello stesso tempo la *grandezza* e la *direzione* della risultante. Onde il punto *a* spinto dalle due forze *ab* ed *ac* trovasi precisamente come se venisse spinto da una sola forza diretta secondo *ar* ed eguale in intensione ad *ar*. Questo principio è vero tanto per le forze eguali, quanto per le forze disuguali; si verifica per le forze le cui direzioni facciano angolo acuto, retto o ottuso, o un angolo qualunque: questo è il principio fondamentale di tutta la statica, ed è conosciuto sotto il nome di *parallelogrammo delle forze* (1).

(1) Il *principio della composizione delle forze*, fecondo di tante utili conseguenze nella meccanica e nella idromeccanica, fu la prima volta escogitato dall'immortale Galilei, il quale nel Dialogo IV delle due scienze nuove sul moto, in una maniera assai breve dimostra, *che se mai un corpo conducasi con due moti equabili l'uno orizzontale, verticale l'altro, l'impeto risultante dalla composizione di essi debba essere in potenza uguale ad amendue*, cioè che la velocità del mobile debba esprimersi con la radice de'quadrati delle velocità di que' due moti. Ma il cavalier Newton, nato, come dice il nostro illustre N. Fergola, per promuovere grandemente le invenzioni Galileiane, trovò un'altra dimostrazione che alla composizione delle forze più che a quella dei moti si convenisse. « Il corpo A (dice questo valen» tuomo, Cor. I. leg. III), qualora è spinto dalle for» ze M ed N (*Tav. agg. fig.* 1) i valori e le direzioni

Allorchè le due forze sono eguali, la risultante divide per metà l'angolo formato dalle direzioni delle componenti, ma può in grandezza pareggiare una delle componenti, superarla o esserne minore (*fig:* 6, 7 e 8).

Se le due forze son disuguali, la risultante dividerà l'angolo in due disuguali porzioni, avvicinandosi sempre alla forza maggiore (*fig.* 9).

19. Potendosi a due forze sostituirne una, con pari ragione ad una sola potrannosene due sostituire. Ognuno potrà facilmente intendere esservi molti differenti sistemi i quali ingenerar possono la stessa risultante (*fig.* 12), ed al contrario molte maniere di sostituire ad una sola forza un sistema di due altre, purchè non si richieda alcuna condizione sulla grandezza o direzione delle medesime: ma se per esempio si domanda (*fig.* 11) di sostituire alla forza *ar* due altre forze, una delle quali abbia la direzione *ay* e sia eguale ad *ac*, allora il problema è determinato, perciocchè in una sola maniera potrà essere esibito il parallelogrammo per rinvenire la componente *ab*.

20. *Risultante d' un numero qualunque di forze operanti sopra d' un punto.* Quando si sa trovar la risultante di due forze che operano sopra d'un punto, puossi anche facilmente ritrovare quella d' un numero qualunque di forze; imperciocchè prendendosi la risultante delle due prime, e poi la risultante tra questa risultante e la terza forza, quindi in simil guisa un' altra risultante fra l' ultima risultante ritrovata e la quarta forza, e così continuando, avrassi la risultante di tutte le forze date, potendosi incominciare l'operazione a piacimento da due forze (*fig.* 12).

21. *Risultante delle forze parallele.* Allorchè due forze parallele *ab* e *cd* (*fig.* 13) operano sopra una linea *ac*, si potrà ad esse sostituire una forza sola, la quale ne sarà la risultante, di cui determinerassi l'intensione, la direzione, ed il punto di applicazione, mercè i seguenti principii.

1°. La risultante di due forze parallele è uguale alla somma di queste se sian dirette per lo stesso verso, ed alla differenza se procedano per versi contrarii.

2°. Essa è parallela alle componenti.

3°. Passa per un punto *g* tale che le distanze *ag* e *cg* sieno in ragion reciproca delle forze *ab* e *cd*. Questo punto d'applicazione della risultante dicesi *centro delle forze parallele*. È singolar proprietà di questo punto di non cambiar sito col cambiar la direzione assoluta delle forze, purchè queste conservino il parallelismo fra loro; perciocchè, se le stesse forze operassero secondo *am* e *cn*, la risultante di queste passerebbe tuttavia per lo punto *g*, dappoichè le forze non essendosi cambiate d' intensità, continuerebbero ad essere in ragion reciproca delle distanze *ag* e *cg*.

La risultante d'un numero qualunque di forze parallele si trova componendo da prima due di queste forze, poi la risultante di queste con la terza, e così sino all'ultimo (1).

22. *Delle coppie.* Due forze eguali parallele ed opposte operanti ad angolo sopra una linea *ac* (*fig.* 11) costituiscono una *coppia*. Da quello, che dianzi abbiam detto, apparisce la risultante di una coppia essere uguale a zero, e

» delle quali son dinotate dalle rette AB, AC, dovrà » condursi per la diagonale AD del parallelogrammo » ABCD che si compie da AB ed AC, descrivendola » nello stesso tempo in che con ciascuna forza sarebbesi condotto per ciascun lato. Imperciocchè la » forza N spingendo cotesto corpo per la direzione » AC parallela ad AB, non estingue la velocità che » la forza M gl'imparisce d'accostarsi alla BD. Dunque dopo qualche tempo esso dovrà rinvenirsi in » un punto della BD. Ma la forza M nè tampoco toglie al mobile la velocità d'accostarsi alla CD prodottavi dalla forza N: dunque è d'uopo che alla fine dello stesso tempo esso trovisi nella CD, e che » con le forze congiunte pervenga per la AD nel luogo D, ove si segano le due rette BD, CD ».

Ma siccome da questa dimostrazione non vedesi come nel misto delle forze restino tuttavia inalterati gli effetti, cioè le velocità di appressare il mobile A alle BD, CD, così alcuni han procurato di modificare la dimostrazione newtoniana, ed altri, come il Bernoulli, il d'Alembert, il cavalier de Fancenex, han tentato nuove dimostrazioni, nell' esame delle quali non ci è dato di entrare.

(1) Siano AP e BQ due forze parallele (*Tag. agg. fig.*3). S'intendano a' punti A e B applicate due forze eguali ed oppposte AM e BN, dirette secondo AB: compiuti i due parallelogrammi, si tirino le diagonali AX e BY.

Essendo le forze MA e BN uguali e contrarie, scambievolmente distruggerannosi, e però la risultante delle due forze AP, BQ rimarrà la stessa che quella delle quattro forze, cioè delle due parallele e delle due uguali aggiunte; ma queste quattro son ridotte alle due AX, BY; dunque la risultante di queste sarà la stessa che la risultante delle due parallele AP, BQ. Si prolunghino le due AX, BY finchè s'incontrino in S, e s'intendano entrambe queste forze trasportate in S; ciascuna di esse si risolva in due, una parallela ad AB e l'altra secondo SG parallela ad AP: è chiaro doverne risultare, secondo KL una forza $=$ AM $-$ BN $=$ O, ed un' altra secondo SG $=$ AP $+$ BQ. Quindi la risultante sarà uguale alla somma delle componenti e parallela ad esse.

Inoltre si ha AP: PX $=$ SG: GA, e BQ: QY $=$ SG: GB; ma è PX $=$ QY; dunque sarà AP . AG $=$ BQ . BG, cioè AP: BQ $=$ BG: AG. Ecco come il Venturoli in una maniera chiara ed elegante dimostra le verità dall' autore enunciate. Nel caso delle forze parallele ed opposte si potrà con pari facilità far conoscere la intensità e direzione della risultante.

pure il sistema non è in equilibrio: è questo un caso particolare nel quale non si può a due forze una sola sostituire: una coppia si può trasformare in mille guise, ma non le si può mai sostituire una sola forza; e però per una coppia non si hanno mai le condizioni di equilibrio: se si lasci operare, la linea *ac* ruoterà finchè non sia arrivata secondo la direzione *dcab* (*fig.* 15); allora la coppia finisce, e s'ingenera l'equilibrio stabile: se poi la coppia venisse ripiegata nel modo espresso dalla *fig.* 16, si avrebbe l'equilibrio, ma instabile, perocchè, rimovendola un poco, ruoterebbe spiegandosi intieramente.

23. Dicesi *leva* una verga dritta o curva, che possa avere un moto di rotazione intorno ad un punto fisso, il quale dicesi *punto di appoggio* (1).

Non può mai una leva essere in equilibrio sotto l'azione di una sola forza, purchè il prolungamento di questa forza non passi per lo fulcro.

Affinchè una leva spinta da due forze, le quali siano nel medesimo piano, resti in equilibrio, uopo è che si avverino due condizioni: *Conviene primieramente che queste forze tendano a farla girare per versi contrari, ed in secondo luogo che le rispettive intensioni siano nella ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva.* Dicesi *braccio di leva di una forza* la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sulla direzione di questa forza, o sul prolungamento di essa: così *fp* (*fig.* 22) è il braccio di leva della forza *ab*, ed *fq* quello della forza *de*. Supponendo che queste forze sieno nello stesso piano, si vede che esse tendono a produrre un moto di rotazione per versi contrari, e con ciò si adempie la prima condizione; ma per potersi verificare anche la seconda, uopo è che la prima di coteste forze contenga l'altra tante volte, per quanto il braccio di leva di questa contiene il braccio di leva della prima. Se per esempio *ab* è doppio di *cd*, converrà che *fq* sia doppio di *fp*; e se *ab* fosse di *cd* mille volte maggiore, converrebbe che anche *fq* fosse mille volte maggiore di *fp*. Queste condizioni di equilibrio si confanno a molte macchine, le quali infine altro non sono che sistemi di leve più o meno intrigati: nel verricello per es., e nell'argano (*fig.* 19 e 20), la resistenza *r*, e la potenza tangenziale *p* la quale cerca di vincerla, son tra loro in ragione inversa delle rispettive braccia di leva, ossia del raggio *ab* del cilindro, e del raggio *cd* della ruota (2).

24. *Pressione sul punto di appoggio.* Nella leva ridotta in equilibrio, il fulcro soffre una pressione che giova conoscere. Si considerino le forze trasferite nel punto dove concorrono le loro direzioni prolungate (*fig.* 23), e si cerchi per mezzo del parallelogrammo delle forze la risultante: questa passerà per lo fulcro, ed esprimerà, in grandezza ed in direzione, la pressione che questo soffre. Se le forze son parallele (*fig.* 24), si sa essere la risultante parallela alle componenti ed uguale alla somma di esse (3).

25. Comunemente la leva viene adoperata per sollevare de' pesi: in questi casi una delle due forze dicesi *resistenza*, ed è propriamente il peso da innalzare; l'altra dicesi *potenza*, la quale è la forza messa in opera per innalzare cotesto peso. E però le condizioni di equilibrio possono essere espresse così: *La potenza sta alla resistenza in ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva.*

Le leve si distinguono in tre generi, secondo la posizione che il fulcro *a* trovasi avere per rispetto alla potenza *p* ed alla resistenza *r* (*fig.* 21). Nella leva di *primo genere*, il fulcro sta tra la potenza e la resistenza; la bilancia è una leva di questa natura: in quella di *secondo genere*, la resistenza trovasi tra il fulcro e la potenza: finalmente in quella di *terzo genere* la potenza sta tra la resistenza ed il fulcro.

Mandiamo chi bramasse acquistare di queste cose idee più estese alla Meccanica del signor Poisson ed alla Statica del signor Poinsot (4).

26. *Moto uniforme.* Il moto dicesi *uniforme* allorchè il mobile percorre spazi eguali in tempi eguali. Figuriamoci un mobile che percorra una retta, ed un orologio che misuri il tempo: se in ogni minuto il mobile percorre lo stesso spazio, come per esempio sessanta piedi, in ogni mezzo minuto trenta, e venti in ogni terza parte di minuto, esso muoverassi con moto uniforme. Essendo in tempi eguali eguali gli spazi, ne segue esser costante il rapporto dello spazio al tempo: questo rapporto appunto dicesi *velocità* del moto uniforme. Col prendere un tempo doppio o triplo, doppio o triplo diverrà anche lo spazio, ed il rapporto rimane lo stesso. Il numero che rappresenta la velocità dipende dall'unità che si è scelta per lo spazio

(1) Chiamavasi anche *fulcro, ipomoclio.*

(2) Vedi i supplementi che seguono.

(3) Tutto quello che l'autore dice in questo paragrafo, si rende chiaro da se dopo di avere intesa la nota del § 21.

(4) Non essendo queste opere fatte per la intelligenza de' poco versati nelle cognizioni matematiche, ho reputato estendere alquanto queste nozioni nei supplementi.

e pel tempo, e mal si esprimerebbe la velocità indicando la con un numero senza determinare le unità che han servito a trovare questo numero. I moti uniformi son più lenti o più rapidi, secondochè minore o maggiore è la velocità: il vento comune scorre 60 metri in un minuto, ed il vento degli uragani giunge fine a 2700 metri; quest'ultimo moto è dunque 45 volte più rapido del primo (1).

27. Essendo la materia inerte, un corpo il quale procede con moto uniforme, dovrà muoversi sempre per la stessa direzione e con la stessa velocità, purchè qualche forza non venga ad operare sul medesimo, o per farlo variare di direzione, o di direzione e di velocità: perciocchè un corpo non può per nulla alterare il suo stato sia di moto, sia di quiete. In questo senso deve prendersi l'inerzia, e non già come l'intendevano i vecchi filosofi, i quali ostinatamente voleano che la materia avesse una tendenza alla quiete. Eglino assimilavano i corpi agli uomini pigri: costoro, diceano essi, bramano il riposo, odiano la fatica; in simil guisa la materia abborre il moto e sforzasi di tornare alla quiete, allorchè viene spinta; e però per que'filosofi inerzia era quasi sinonimo di pigrizia. Ma da quanto abbiam detto ne segue, in tre cose consistere essenzialmente l'inerzia: 1. nella necessità di una forza per mettere in moto la materia, 2. nella continuazione del moto dopo che la forza ha cessato di operare, 3. nella necessità di una nuova forza per alterare il moto che la materia ha ricevuto. Quando scorgiamo un moto scemarsi, mancare, o in una maniera qualunque alterarsi, possiamo esser certi della presenza di una causa produttrice di cotal cambiamento. Una pietra lanciata contro del sole, dovrebbe arrivarvi se non le si opponesse la resistenza dell'aria e la forza di gravità, la quale la tira verso la terra; una palla da trucco posta in moto, non si arresterebbe mai se al suo moto non si opponesse la resistenza dell'aria ed un attrito più o meno considerabile sul tappeto.

28. Quasi tutte le forze che mettono in moto i corpi, spiegano la loro azione direttamente sopra un piccol numero di molecole componenti i medesimi. Così quando si urta una palla da trucco, si toccano solo alcuni punti della superficie; allorchè il vento fa muovere una nave, esso ne spinge solo le vele; e quando la polvere scaglia una palla, il gas che si sviluppa e che dà moto alla medesima spiega solo la sua azione contro l'intero emisfero. Intanto tutte le parti del corpo si muovono, tanto quelle sulle quali la forza non ha operato direttamente, quanto quelle sulle quali essa si è applicata. Convien dunque dire che avvenga una eguale ripartizione del moto in tutte le molecole, affinchè l'una non vada dell'altra più celere: quelle che sono urtate direttamente spingeranno le vicine, queste le altre e così di mano in mano, finchè tutta la massa sia scossa, e tutte le parti con un moto comune si muovano. Affinchè il moto passi di molecola in molecola, si richiede un certo tempo, il quale non è molto lungo, ma neppure brevissimo: la durata di questa diffusione del moto è analoga a quella necessaria perchè un fluido si spanda in un vaso e vi si ponga a livello: e però una cotal durata dipende dalla massa e dalla natura del corpo; ecco perchè non avvi mai alcun moto che dir si possa istantaneo. Questo principio è generale per tutta la materia, non esclusa quella dei corpi organici: di fatti, negli animali più agili il moto non è sì celere come lo è il pensiere, e ci vuole un certo tempo perchè si mostri con tutta la sua velocità. Un uccello può vedere lo strale che va per ferirlo, ma lo strale è più rapido delle contrazioni muscolari: basterebbe che l'uccello piegasse alquanto il capo per potere schivare il colpo, ma il capo è ferito pria che il moto muscolare abbia prodotto il suo effetto. Si potrebbero fare delle piacevoli investigazioni intorno alla rapidità delle contrazioni degli organi delle diverse specie di animali.

29. *Della quantità di moto.* Dopo che una forza ha operato su di un corpo, dopo che il moto si è diffuso in tutte le parti della massa, le quali perciò muovonsi con una comune velocità, tutto è finito per la forza, essa ha prodotto tutto il suo effetto, e si può dire esser passata nel corpo, esservisi sparsa, ed ivi restar come racchiusa.

E però un proiettile lanciato dalla mano, o

(1) Lo spazio percorso dal mobile in una data unità di tempo, può servire ad esprimere la velocità del moto uniforme. Sia V questo spazio; egli è chiaro che in due, tre, quattro, ec. unità di tempo, lo spazio sarà espresso da 2V, 3V, 4V ec.; onde per un numero T di unità di tempo sarà lo spazio espresso da TV; dunque chiamando S lo spazio, avremo $S=TV$, equazione fondamentale del moto uniforme, dalla quale si può avere il tempo essendo dato lo spazio o la velocità, e la velocità se è dato lo spazio ed il tempo. Con l'aiuto di questa equazione sarà facile il paragonare gli spazi, i tempi e le velocità di due moti uniformi. Infatti supponghiamo s, t, v, rappresentare lo spazio, il tempo e la velocità di un altro moto uniforme: avremo $S:s=TV:tv$, ove se i tempi fossero eguali si avrebbe $S:s=V:v$, e se fossero eguali le velocità sarebbe $S:s=T:t$. Se finalmente si avesse $S=s$, sarebbe $TV=tv$, e quindi $T.t=v.V$.

spinto da una elasticità che si rilascia, o da una improvvisa esplosione, va via, percorrendo lo spazio, per ubbidire alla forza che ha prodotto il suo effetto, e che al presente su di esso più non opera. Se questo proiettile non incontrasse nè l'aria, nè l'acqua, nè alcun altro fluido o altro corpo in moto o in quiete, e se inoltre su di esso alcun'altra potenza non operasse, andrebbe con moto uniforme per la direzione per la quale da principio è stato spinto, senza fermarsi e senza divertire; e dopo di un secolo egualmente che dopo un minuto secondo avrebbe ancora la stessa direzione e la stessa velocità. Cotesta perseveranza del moto, come abbiamo osservato, non ha guari, è una conseguenza dell'inerzia: essa si può esprimere dicendo, l'azion della forza durar solo un istante, ma l'effetto da esso prodotto durare per sempre.

In tal guisa il corpo conserva le tracce della forza cui è stato sottoposto, e si comprende che la forza, rimanendo la stessa, su mobili diversi, diversissimi effetti produrrebbe. La carica di polvere, la quale scaglia una palla, potrebbe appena smuovere una bomba; ed ognun sa, che l'arco il quale imprime ad uno strale leggiero velocità grandissima, non potrebbe con pari velocità lanciarne uno di peso maggiore. Generalmente si crede questa differenza dipendere dalla gravità; ma cosiffatta credenza è falsa, altrimenti dovrebbe seguirne che, se i corpi cessassero di esser gravi, sarebber tutti con eguale velocità proiettati, mentre questo è un errore grandissimo. Fingiamo per poco non essere i corpi pesanti, ed oltre a ciò non esservi aria che possa resistere al moto de' medesimi, sarebbe ancor vero che la palla andrebbe più celere della bomba e lo strale di legno di quello di ferro, imperciocchè la stessa forza impressa a differenti quantità di materia produrrà velocità tanto minore per quanto maggiore sarà la massa. Ecco su questa importante materia un assioma, il quale serve di principio essenziale alla meccanica: *Quando una stessa forza opera su differenti mobili, impartisce ad essi velocità le quali sono in ragion reciproca delle masse, ovvero delle quantità di materia dalle quali questi risultano.* Quindi la stessa forza esplosiva la quale successivamente lancerebbe le palle di piombo, i cui volumi, e per conseguenza le quantità di materia, fossero 1, 2, 3, 4, ec., darebbe ad esse le velocità come 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ecc.; in modo che la palla la cui massa fosse 10 avrebbe la velocità di $\frac{1}{10}$, se la massa fosse 100 avrebbe una velocità cento volte minore, e così via discorrendo: d'onde apparisce che la massa di ognuno moltiplicata per la velocità corrispondente darebbe sempre lo stesso prodotto; imperciocchè per la prima questo prodotto è $1 \times 1 = 1$, per la seconda è $2 \times \frac{1}{2} = 1$, ec. Questo prodotto della massa di un mobile moltiplicata per la velocità, si chiama *quantità di moto*: segue da ciò la stessa forza produrre sempre la medesima quantità di moto, sia qualunque il proiettile che spinge, e però la quantità di moto esser la vera misura delle forze motrici.

Una forza impulsiva dicesi doppia, tripla, quadrupla di un'altra, se produce doppia, tripla, quadrupla quantità di moto: quindi nascono le tre seguenti verità:

1. *Le forze sono fra loro come le quantità di moto che producono, ovvero come il prodotto delle masse moltiplicate per le velocità;*

2. *Quando le masse sono eguali, le forze sono come le velocità che imprimono;*

3. *Se le velocità sono eguali, le forze sono come le masse sulle quali operano* (1).

(1) Il cavaliere Newton nei Principii mat. della filos. nat. dice: *Quantitas motus est mensura eiusdem orta ex velocitate et quantitate materiae coniunctim.*

La misura delle forze vive, cioè di quelle che sono inerenti ai corpi mossi, dice l'illustre N. Fergola, « chi non sa in quante guise abbia rivolto dei moderni geometri il cervello? L'immortale Newton, » seguendo le orme di alcuni fisici italiani, e dopo di » lui il Desaguliers, il Mairan, Colin Mac-Laurin, Jurin, ed altri si avvisarono doversi le forze dei corpi » valutare dalle masse nelle velocità di essi. Laddove il gran Leibnitz, e con seco la famiglia dei celebri Bernoulli, la numerosa scuola dei Wolfiani, » il marchese Poleni, Ermanno, Rieter, il P. Riccati, ed'altri, sostener forte che la regola Newtoniana sol ne valesse per le pressioni che essi chiamarono *forze morte*; ma che per misurar le *forze vive*, cioè le *forze dei corpi in moto*, dovessi la » massa del mobile nel quadrato della velocità moltiplicare ». Lunga ed ostinata lite per questo tra i meccanici nasceva, e bello era il vedere come i Newtoniani e i Leibnitziani nella soluzione dei problemi ai medesimi risultamenti pervenissero, e però molti nuove esperienze praticavano l'una o l'altra sentenza sostenendo, mentre altri per comporre la lite nuove cose scrivevano, ed altri infine esser la quistione solo di parole affermavano. Ma mettendo da banda tutto ciò, osserviamo che se una forza F imprima in una unità di tempo ad una data massa M una qualunque velocità, affinchè questa divenga doppia, tripla ec., converrà che doppia, tripla ec., anche la forza diventi: o se la forza dia ad una data massa una velocità V., per avere la stessa velocità in una massa doppia, tripla ec., è chiaro anche doppia, tripla ec. dover essere la forza, e però per l'unità di tempo potremmo dire essere $F = MV$. Che se poi considereremo questa forza in azione per due, tre, quattro ec unità di tempo, egli è chiaro il suo effetto doppio,

30. *Della comunicazione del moto.* Allorchè un corpo in moto ne incontra un altro anche in moto, o in quiete, singolarissimi effetti producònsi, i quali dalla elasticità, dalla durezza, e dalle relative masse dipendono. Finora la scienza non è giunta a far la disamina di questi fenomeni, se non supponendo i corpi perfettamente elastici, o di elasticità interamente privi: ipotesi entrambe false, ma dalle quali deduconsi alcune regole semplici, nella pratica utilissime. Noi qui dobbiamo solo prendere in considerazione i corpi non dotati di elasticità, perciocchè i singolari fenomeni dei corpi elastici prenderemo in disamina in uno dei seguenti libri.

1°. Allorchè due masse eguali, non elastiche, e dotate della stessa velocità, vengono ad urtarsi *direttamente* (1), premonsi a vicenda, si fermano in un tratto, e rimangono in quiete nel luogo ove sonosi urtate. È questo un principio da per se stesso evidente, imperciocchè queste masse non possono rimbalzare, essendo prive di elasticità, nè l'una potrà trar seco l'altra spingendola innanzi, essendo eguali i moti per versi contrari. Però, due palle di piombo perfettamente eguali, che in pari tempo fossero lanciate con eguali forze, urtandosi in direzioni contrarie con la medesima velocità, si schiaccerebbero, non essendo dure, e resterebbero prive di moto. Se esse cadono dopo l'urto, ciò non avviene per alcun residuo di velocità non distrutta, ma sibbene per l'opera della gravità continuamente operante su di esse.

2°. Questo principio si adatta anco alle masse disuguali, purchè sieno dotate di eguali quantità di moto, vale a dire: se una massa è doppia dell'altra, questa dovrà avere doppia velocità di quella per farla fermare; una massa cento volte più piccola dotata di centupla velocità produrrebbe lo stesso effetto, e così via discorrendo: una palla di piombo di un' oncia ne fermerebbe un'altra di una libbra, se quella avesse una velocità sedici volte più grande di questa, e fermerebbe una palla da 48 se portasse una velocità settecentosessantotto volte maggiore, poichè un' oncia è $\frac{1}{768}$ di quarantotto libbre. Due quantità di moto eguali e contrarie, distruggonsi interamente allorchè la elasticità non è in esercizio: perocchè in fatti due quantità di moto eguali e contrarie altro non sono che due forze eguali ed opposte, le quali, come abbiamo veduto, debbonsi distruggere.

3°. Essendo le quantità di moto disuguali, la più grande dovrà vincerla; perciocchè il mobile che ne è dotato, spingendo innanzi a se l'altro mobile, lo astringe a mutar direzione, e da questo momento i due corpi procedono uniti con una comune velocità.

In questo caso la quantità di moto che rimane è la differenza delle quantità di moto primitive; e poichè questa trovasi diffusa nella somma delle due masse, ognuno vede la rimanente velocità potersi ottenere dividendo la differenza delle quantità di moto per la somma delle masse.

Se i mobili andassero per lo stesso verso, le quantità di moto verrebbero ad unirsi, e la comune velocità dopo l'urto, si avrebbe dividendo la somma delle quantità di moto per quella delle masse.

E ciò vale anche nel caso che un corpo in moto ne urtasse un altro che si trovasse in quiete; perciocchè esso per procedere innanzi dovrebbe necessariamente portar seco il corpo in quiete, e però comunicare a questo tanta quantità di moto da potersi muovere entrambi con una comune velocità. Se la massa del corpo che trovasi in quiete fosse eguale a quella del corpo urtante, egli è chiaro dopo l'urto doversi trovare il moto egualmente distribuito tra le due masse, e la velocità dopo l'urto dover esser ridotta alla metà, essendosi raddoppiata la massa: la velocità dopo l'urto sarebbe la terza parte di quella prima dell'urto, se la massa del corpo in quiete fosse doppia di quella del corpo in moto; donde si vede che generalmente per aver la ragione tra la velocità prima dell' urto e quella dopo l'urto, bisogna dividere la massa del corpo urtante per la somma delle masse dell'urtante e dell'urtato. Quindi una palla di fanteria la quale pesa $\frac{1}{20}$ di lib-

triplo, quadruplo ec. dover riuscire. Onde una forza minore, operando per lungo tempo, potrà produrre un effetto uguale a quello di una forza maggiore che abbia per un tempo minore operato. E la disputa tra i Newtoniani ed i Leibnitziani da ciò precisamente traeva la sua origine, perocchè i primi valutavano la forza e poscia tenevan conto del tempo, e gli altri il tempo implicitamente computavano nel moltiplicare la massa per il quadrato della velocità.

Essendo dunque F=MV, la quantità di moto non essendo altro che l'effetto della forza, se cotesta quantità di moto la diremo Q, sarà Q=MV. Adoperando poi f, m, v, q, per un'altra forza diversa operante sopra di altra massa, avremo parimenti $f=mv$, e $q=mv$. Quindi paragonando due forze, avremo $F:f=MV:mv=Q:q$, e se fosse $F=f$, ovvero $Q=q$, si avrebbe $MV=mv$, cioè $M:m=v:V$. Dalla stessa analogia ricavasi, nel caso delle masse eguali, $F:f=V:v$, e nel caso della velocità eguali $F:f=M:m$. E queste sono le verità dall' Autore enunciate.

(1) L'urto dicesi *diretto* allorchè avviene nella direzione del centro di gravità.

bra, e la cui velocità nell'uscire dall'archibugio è di 1300 piedi per ogni minuto secondo, se urti una palla da 48 la quale sia in quiete, la spingerà innanzi a se, e la comune velocità starebbe a quella di 1300 piedi, come $\frac{1}{20}$ sta a $48 + \frac{1}{20}$, ossia come 1 a 961, vale a dire essa sarebbe di $\frac{1300}{961}$, o di 1 piede ed $\frac{1}{3}$ per ogni 1″ approssimativamente.

Allorchè una palla va ad urtare un gran masso di pietra, quella deve dare a questa una certa velocità: ma cotal velocità convien che sia picciolissima, perciocchè se il masso di pietra pesasse solo 500 libbre, la velocità dopo l'urto sarebbe a 1300 piedi come $\frac{1}{20}$ sta a $500 + \frac{1}{20}$, o come 1: 10001, vale a dire non oltrepasserebbe un pollice per ogni secondo; ma la resistenza e l'attrito avrebber tosto distrutto questo piccol moto, il quale sarebbesi successivamente comunicato a' tutte le parti contigue, ed anche all'intera massa terrestre.

In tal guisa il moto si comunica e non si perde; ed allorchè sembra che si consumi, esso in realtà esce da un corpo per passare in quelli chè ad esso si paran d' innanzi: il moto si diffonde successivamente a quelli che son contigui all'urtato, e per la grande dispersione che soffre vi diviene insensibile. Ci vuole il moto per distruggere il moto; le resistenze e l'attrito posson solo disperderlo, ma non mai distruggerlo (1).

Partendo da questi dati si misura la velocità de'proiettili, per mezzo del pendolo *balistico* rappresentato dalla figura 25. Questo strumento è composto da un asse di ferro *a*, il quale finisce a coltello dalle due parti estreme, e giace su due solidi sostegni; un masso di legno *b* molto pesante ed armato di ferro è sospeso all'asse *a* mercè le due aste dirette *t* e le quattro obblique *d*, un ago *c* che scorre in una scanalatura circolare *f*, lasciando l' impressione sopra certa cera molle destinata a riceverla: dalla lunghezza di questa traccia si conosce il deviamento del pendolo, colpito con urto diretto dalla palla. Il pendolo è lungo due o tre metri, ed il suo peso in tutto è di tre o quattromila chilogrammi: il proiettile divide la sua velocità con questa massa grandissima; ed allorchè per mezzo del deviamento del pendolo si è potuto conoscere la velocità che ha ricevuto, facil riesce il conoscere la velocità della palla nel momento dell'urto (1).

Avvengono nella comunicazione del moto de'particolari fenomeni, i quali dipendono dalla maniera di aggregazione de'corpi, e dalla rapidità con la quale il moto può passare da molecola in molecola, nell' interno di una stessa massa. Si sa, per esempio, che una palla perfora una lastra di vetro senza romperla, facendovi un buco simile a quello che uno stampo farebbe sopra una lamina metallica. Questo effetto nasce dalla velocità della palla, e non dalla sua forma; perciocchè se venisse buttata con la mano, la lastra di vetro romperebbesi egualmente che se venisse colpita da una pie-

(1) « Gio. Alfonso Borelli, insigne Geometra Napo- » litano, fu il primo che nella sua opera *De vi percussionis* legò a'principii della geometria il moto emergente dalla collisione de'corpi. Ma le cognizioni fisiche ch'egli ebbe su questa teoria non furono interamente gradevoli a' dotti. Sicchè il dottor Wallis, » il cavalier Wren, Cristiano Ugenio, tre preclarissimi » geometri, soddisfacendo a' desiderii della Società » Reale di Londra, dimostrarono compiutamente con » la geometria e co'veri principii della fisica le regole onde collidonsi i corpi inerti e gli attuosi, e le » confermarono con la sperienza. » Ferg. Prelez. ec.

Se l'urto de'corpi inerti è diretto, noi potremo considerare i momenti di questi corpi come due forze operanti per lo stesso verso o per versi contrari, e però intenderemo dopo l'urto doversi avere o la somma o la differenza de' momenti. E siccome le masse son sempre riunite, così col dividere la somma o la differenza delle quantità di moto (secondochè i corpi vanno per lo stesso verso o per versi contrari) per la somma delle masse, avremo la comune velocità dopo l'urto. E però, chiamando M, *m*, V, *v*, le masse e le velocità de' corpi prima dell' urto, ed *x* la comune velocità dopo l'urto, sarà $x = \frac{MV \pm mv}{M+m}$ formola che contiene tutt'i casi. Supponiamo che i corpi muovansi per la stessa direzione, ed abbiano eguali masse: in questo caso si avrà $x = \frac{M(V+v)}{2M} = \frac{V+v}{2}$. Sia il corpo urtato in riposo: allora sarà $mv = 0$, e quindi si avrà $x = \frac{MV}{M+m}$; e se fosse $M = m$, si avrebbe $x = \frac{MV}{2M} = \frac{V}{2}$. Quando il corpo urtato è infinito rispettivamente all' urtante, si avrà $x = \frac{MV}{M+\infty}$, cioè infinitesima velocità.

Trovata la comune velocità dopo l'urto, si può conoscere la quantità di moto attuale di ciascuno; e sapendo quella di prima, si potrà anche conoscere quanto ciascuno ne abbia ricevuto o dato.

(1) Perciocchè nella formola $x = \frac{MV}{M+m}$ sarebbe solo V ignota, e perciò avrebbesi $V = \frac{M+m}{M} x$.

tra. Ma la palla procedendo con la velocità che dalla polvere ha ricevuta, le molecole che essa tocca son trasportate sì velocemente, che non v' ha tempo da poter trasmettere il moto alle parti circostanti: in questo caso il moto si comunica solo al cerchio dalla palla colpito, e la lastra ancorchè sospesa ad un fil di seta neppure un picciolissimo scuotimento soffrirebbe.

Per tal ragione è spesso accaduto che una palla di cannone abbia spezzato l'archibugio di un soldato di fanteria, senzachè costui abbia sentito il minimo urto, in quella stessa guisa che una bacchetta tronca una testa di papavero senza farne piegare lo stelo. In oltre credeasi che una bomba potesse portar seco una corda grossa e forte, la quale svolgendosi la seguirebbe, e che per tal mezzo si potesse senza pericolo recar pronto soccorso a grandi distanze, come in caso di naufragio, d'incendio, o di altri urgenti bisogni; ma venendo al fatto, non si è potuto effettuare questo ingegnoso disegno, perciocchè la corda si spezza e non può seguire la bomba. Converrebbe avere un proiettile la cui velocità lentamente si aumentasse, affinchè l'aderenza delle molecole potesse reggere alle scosse; perciocchè noi dobbiamo considerare la coerenza delle molecole come una sorta di legame inmateriale, il quale non può resistere senza spezzarsi che ad uno sforzo determinato. Una molecola essendo tirata ed una altra trovandosi in quiete, se quella è troppo velocemente tratta, il legame si rompe, anche perchè in un dato tempo solo una data quantità di moto può passare da una molecola in un'altra.

Il moto prodotto da una esplosione o della polvere o dell'aria o del vapore compresso, è un moto che di necessità per ogni verso diffonder si deve. Le pareti del cannone son di ostacolo alla espansione laterale, e tutto l'effetto va a ridursi per la direzione della lunghezza, ed ivi egualmente opera per versi contrari, vale a dire dalla parte anteriore spingendo il proiettile e dalla parte posteriore il fondo, il cannone, e tutte le parti ad esso unite. Coteste due quantità di moto che sono sempre opposte, sono altresì sempre uguali, e da ciò nasce il rinculamento che segue necessariamente l'egresso del proiettile. Se l'archibugio non è respinto verso la spalla con velocità eguale a quella con la quale la palla è trasferita, e se il cannone con la sua carretta non rinculano con la stessa velocità della palla, ciò nasce dal perchè i proiettili han molto menò massa delle armi ordinate a lanciarli. Allorchè un cacciatore tira un colpo di archibugio, la sua spalla soffre quella stessa pressione che soffrirebbe se una palla da fuori venisse spinta nella canna ad urtarne il fondo con velocità eguale a quella che porta quando ne esce.

Da ciò si comprende, essere sufficiente il sapere il peso dell'arma, quello del proiettile, e la velocità del rinculamento, per poterne dedurre la velocità del proiettile nel cominciamento del suo moto. Questo metodo è stato adoperato da Robins con buon successo.

Una circostanza degna di osservazione, la quale può servire anche di nuovo argomento per fare aperto il tempo che il moto impiega per diffondersi in tutta la estensione di una massa considerabile, è che il rinculamento non comincia ad apparire, se non quando la palla è uscita fuori del cannone. La esperienza fu fatta la prima volta a La Rochelle circa l'anno 1667, per comandamento del Cardinale Richelieu. Erasi sospeso un cannone all'estremo di una grossa leva mobile, e la palla che uscivane andava a colpire il segno come se il cannone avesse dovuto rinculare per la stessa direzione del proiettile.

La resistenza del mezzo è un effetto della comunicazione del moto. E per fermo, quando un corpo muovesi nell'acqua è costretto a rimuovere il fluido che incontra, ed il moto che dà a questo è perduto da esso; dipoi secondo che procede innanzi incontra altro fluido in quiete, similmente lo rimuove, e perde nuova quantità di moto. Avviene lo stesso per ogni altro mezzo, come sarebbe l'aria, un gas od altro fluido qualsivoglia. Intorno a questo fenomeno suolsi ammettere per principio generale, che *la resistenza di mezzo* è proporzionale al quadrato della velocità del corpo che muovesi entro di esso; ed ecco la ragione che se ne suol dare: Allorchè la velocità diviene doppia, il corpo percorre altrettanto spazio nello stesso tempo, d'onde segue: 1° che esso incontra altrettanto numero di molecole alle quali imprime del moto, il che produce per esso una doppia perdita; 2° che andando doppiamente veloce, deve altrettanta velocità a coteste molecole comunicare, il che raddoppia anche la sua perdita, o però la rende quattro volte maggiore. Dunque allorchè la velocità diventa 2 la perdita diventa 4, quadrato di 2. In simil guisa si conosce, che con una tripla velocità, incontrando il triplo delle molecole, alle quali deve anche tripla velocità comunicare, la perdita di moto sarà 9; e così via discorrendo. Per velocità eguali in mezzi differenti, le perdite dipendono dalla quantità di materia che sotto un determinato volume tali mezzi contengono, o dalla aderenza o viscosità più o men grande che tra le molecole ritrovasi.

31. *Della forza centrifuga.* Figuriamoci una piccola sfera priva di gravità legata all'estremo di un filo *m* (*fig.* 27) di lunghezza invariabile; e supponiamo che diasi ad essa una spinta per farla girare intorno al punto *c*, come la pietra di una fionda girerebbe intorno alla mano: egli è chiaro dover la sfera descrivere un cerchio, quindi un altro, e così continuando indefinitamente; e se non si rinvenisse alcuna resistenza, sarebbe questo un moto continuo e continuamente uniforme. La velocità di questo moto circolare è uguale allo spazio diviso per il tempo, come quella del moto rettilineo; ed in pari tempo il filo soffre una tensione, perciocchè se si taglia in un dato istante, la sfera non muoverassi più come prima per un cerchio, ma procederà in linea retta nella direzione della tangente sulla quale ritrovasi. Alla causa di questa tensione del filo dassi il nome di *forza centrifuga*, perciocchè infatti questo è lo sforzo che fa la sfera per allontanarsi dal centro, o, che vale lo stesso, è lo sforzo che fa il filo per trattenerla ed impedire che si allontani. Allorchè la pietra di una fionda gira lentamente, la corda è poco tesa; quando essa gira con velocità; la corda tendesi di più; e però la forza centrifuga ha una dependenza dalla velocità di rotazione, crescendo o scemando con essa secondo una certa relazione. Dimostrasi in meccanica nei cerchi disuguali descritti nello stesso tempo, le forze centrifughe esser proporzionali ai raggi. Per esempio, in una ruota orizzontale o verticale che giri intorno di un asse, la forza centrifuga sarà proporzionale alla distanza dal centro.

La macchina espressa dalla figura 26 mostra questo effetto in un modo spiccato: la molla *ab*, allorchè sta in quiete, è quasi circolare; ma tostochè si fa girare intorno al suo asse e per mezzo del manubrio *m* e della corda incrocicchiata *d*, diviene ellittica, e si schiaccia sempre più al crescere della velocità di rotazione, i punti più distanti dall'asse allontanandosi maggiormente per effetto della forza centrifuga.

Nei cerchi eguali descritti in tempi differenti, le forze centrifughe sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi.

Se il moto non fosse circolare, ma un'altra curva seguisse, sarebbevi anche una forza centrifuga, la quale dovrebbesi in altra maniera misurare. La forza centrifuga ha luogo in ogni moto curvilineo, e per impedirne l'effetto è mestieri, o che un filo mantenga il mobile, o che gli faccia ostacolo una resistenza, o finalmente che una forza attrattiva operante continuamente su di esso lo spinga verso del centro di rotazione con tanta efficacia da pareggiar quella mercè la quale la forza centrifuga ne lo allontanerebbe (1).

32. *Moto uniformemente accelerato.* Dicesi *moto vario* in generale il moto rettilineo o curvilineo nel quale la velocità è varia in ogni instante. Il moto dicesi *accelerato* se la velocità va crescendo, e *ritardato* se va scemando. Comprendesi facilmente esservi una infinità di moti vari, perciocchè la velocità di un mobile può aumentare o scemare in moltissime differenti maniere. Generalmente poi nei moti vari che avvengono nella natura, la velocità suol variare secondo alcune leggi molto semplici, qualora si possano esaminare tutte le circostanze che il mobile presenta durante un tempo assai lungo.

33. Nel moto vario la velocità non ha il costante rapporto con lo spazio e col tempo, come nel moto uniforme. Figuriamoci un corpo che si muova con moto accelerato o ritardato in una maniera qualunque: non essendo il suo moto uniforme, è mestieri conchiudere esservi una forza la quale in ogni momento viene a disturbare l'uniformità, operando nel verso medesimo del moto per accrescerne la velocità, o per lo verso contrario per iscemarla; è questa la causa necessaria della variazione. Al contrario se in un tempo qualunque del moto vario non venisse alcuna forza ad operare sul mobile, egli è chiaro dovere in sull'istante sparire ogni variazione, ed il mobile dover continuare a muoversi in linea retta con moto uniforme. Or la velocità di cotesto moto uniforme, la quale verrebbe dopo del moto vario, tolta via ogni nuova forza conservatrice della variazione, è propriamente ciò che dicesi *velocità del moto vario.*

Il *moto uniformemente accelerato* è una maniera particolare del moto vario, ed è quello nel quale la velocità cresce in proporzione del tempo: puossi anche diffinirlo col dire, essere il moto prodotto da una forza *acceleratrice costante*, vale a dire da una forza che opera sempre sul mobile, e che ha sempre la stessa direzione ed intensità; perciocchè dimostrasi in meccanica, solo le forze di questa natura poter dare ai corpi velocità che divengano doppie, triple o quadruple.

34. Tutte le leggi del moto uniformemente accelerato contengonsi nelle due seguenti formole:

$$v = gt$$
$$s = \frac{gt^2}{2}$$

(1) Ommetto le dimostrazioni di queste verità per non entrare in teoriche alquanto difficili.

nelle quali t è il tempo passato dal cominciamento del moto, g la velocità acquistata dopo una unità di tempo, v quella acquistata dopo il tempo t, ed s lo spazio totale percorso nello stesso tempo. Di queste quattro cose essendo conosciute due, possonsi le altre due ritrovare. Vedremo alcune utilissime applicazioni di queste dottrine, allorchè della gravità discorreremo (1).

SUPPLIMENTO PRIMO.

I.

Delle leggi del moto. L'Autore, parlando del moto e della inerzia della materia, si è giovato delle leggi del moto escogitate da Newton, le quali mi piace di qui recare con le stesse parole del sommo geometra inglese, affine di farvi alcune brevi osservazioni.

1. *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi, vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

2. *Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam, qua vis illa imprimitur.*

3. *Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem.*

Dalla 1ª e 2ª di queste leggi segue ogni forza istantanea produrre moto uniforme e rettilineo. La terza legge poi fu dal cavalier Newton con tre esempli illustrata, e servì a molti di argomento per ammettere la resistenza o forza d'inerzia. Ma se si porrà mente alla nota 16 pag. 1, e a ciò che l'Autore ha detto nel § 27 del precedente capo, si vedrà la reazione a parlar propriamente non avere esistenza, se per essa voglia intendersi una forza; ma in vece quel che dicesi reazione esser l'effetto della comunicazione del moto e della impenetrabilità della materia. E per fermo, se la materia opponesse mercè la sua inerzia alcuna resistenza, non dovrebbe esser vero che il corpo urtante perde tanto moto per quanto ne acquista l'urtato, il che è contro i fatti dalla sperienza fermati. Ed appunto perchè è vero che il moto perduto nell'urto da un corpo inerte è uguale al moto comunicato, perciò nella soluzione dei problemi di meccanica non si ha diversità di risultamenti ammettendo o non ammettendo la reazione dell'inerzia.

II.

Momenti di rotazione. Se vi sian due punti A, B collegati invariabilmente tra loro, e l'uno di questi A (*Tav. agg. fig.* 5) essendo fisso, l'altro sia spinto dalla forza P, è chiaro questo doversi muovere girando intorno di quello immobile nel piano che passa per cotesto punto e la direzione della forza. Così fatto moto dicesi di *rotazione* e *momento di rotazione* si chiama l'efficacia della forza nel produrlo. Questa efficacia poi dovrà crescere col crescere della intensità della forza non solo; ma anche col

(1) Dalla definizione del moto uniformemente accelerato esposta dall'Autore, apparisce che se la forza acceleratrice dà al mobile nella prima unità di tempo una velocità g, per le unità seguenti sarà successivamente $2g$, $3g$, $4g$..... tg, esprimendo con t un numero di unità di tempo qualunque. Parlando del moto uniforme, abbiam veduto essere lo spazio uguale al prodotto della velocità per lo tempo, donde segue potersi esprimere per un rettangolo, la lunghezza e la larghezza del quale siano due linee una rappresentante la velocità e l'altra il tempo. Vediamo ora come possa esprimersi lo spazio del moto uniformemente accelerato. Sia la retta AG (*Tav. agg. fig.* 4) divisa in parti eguali rappresentanti le unità di tempo: sia Bo la velocità che il mobile riceve dalla forza acceleratrice nella prima unità di tempo. Se questa velocità l'avesse da principio come costante, lo spazio dovuto a questa prima unità di tempo sarebbe espresso dal rettangolo mB; e se la ricevesse in vece tutta alla fine, non vi sarebbe spazio per questa unità di tempo già passata. Similmente dovendo la velocità della seconda unità di tempo diventare $=2Bo=lm$, se questa fosse data al mobile al cominciare di questo tempo, lo spazio sarebbe espresso dal rettangolo Cn; al contrario sarebbe espresso da Co, se quest'aumento di velocità fosse dato al corpo alla fine della seconda unità di tempo. E così continuando a ragionare, si troverebbe che nella prima ipotesi lo spazio totale sarebbe espresso dalla somma dei rettangoli Bm, Cn, Dp, Eq, Fr, Gs, e nella seconda dalla somma de' rettangoli Do, Dz, En, ec. Ma nè l'una nè l'altra è vera nel caso della forza continua; per il che considerando le unità di tempo infinitesime, si comprenderà tutti questi rettangoli avvicinarsi sempre più al triangolo, e confondersi con esso, che di questi è il limite, allorchè la forza acceleratrice si consideri veramente come continua. E però lo spazio scorso con moto uniformemente accelerato può essere espresso da un triangolo rettangolo, i cui cateti dinotino, uno i tempi, e l'altro le velocità. Quindi essendo il triangolo $AGH=\frac{AG\times GH}{2}$, ed essendo $AG=t$, e $GH=tg$, chiamando s lo spazio, avremo $s=\frac{gt^2}{2}$. Dall'essere poi le velocità come i tempi, è chiaro doversi avere $v=gt$. Ed ecco le due formole dall'Autore qui sopra recate. Da queste formole apparisce, nel moto del quale parliamo essere gli spazi come i quadrati de' tempi, ed i tempi come le radici degli spazi. Ommetto alcune altre considerazioni che qui potrebbero farsi, per non uscire da' limiti di una nota.

crescere della distanza di sua direzione dal punto fisso, perciò il momento si valuta per lo prodotto della detta distanza nella intensità della forza.

La distanza poi della quale si parla vuolsi determinare per mezzo della perpendicolare AB, che dal punto fisso si abbassa sulla direzione della forza; perciocchè la forza per produrre la rotazione opera perpendicolarmente a cotesta linea. E per fermo, se la direzione della forza sia obbliqua ad AB, e sia per esempio secondo BR, risolvendo l' azione della forza in due, una secondo PR parallela ad AB, l' altra secondo RQ perpendicolare ad essa, si comprenderà, la sola forza perpendicolare produrre la rotazione del punto B, operando l'altra per trarre verso B il punto A, il quale mercè la propria resistenza la distrugge. E però il vero momento sarà espresso da BP. AB=P. AB, facendo BP=P: il quale momento è eguale al prodotto della data forza nella perpendicolare AC tirata sulla sua direzione; perciocchè dai due triangoli simili BRP, ABC si ha BR: PB=AB: AC, e quindi BR. AC=PB. AB. Il momento di rotazione così prodotto dicesi *riferito ad un centro* A, intorno al quale si fa la rotazione, e che *centro de'momenti* viene appellato.

Che se per lo punto A intendasi menata una retta Oo perpendicolare al piano che passa per lo detto punto e per la direzione della forza, il momento della forza che produce la rotazione dicesi riferito a questa retta, la quale *asse dei momenti di rotazione* suolsi comunemente chiamare. Affinchè poi il momento di una forza possa riferirsi ad un asse, conviene che la direzione siane in un piano perpendicolare ad esso; perciocchè se fosse in un piano inclinato al medesimo, decomponendo di questa forza l' azione, si troverebbe una parte di essa produrre la rotazione, restando l'altra distrutta dalla resistenza dell' asse.

Da ultimo, se s' immagini che un piano perpendicolare ad AB passi per lo punto A, il momento delle forze potrà a questo piano esser riferito, il quale perciò si dice *piano de'momenti.* Ma perchè il momento d' una forza si possa ad un piano riferire, è mestieri che quella sia a questo parallela, e la ragione di ciò apparirà col por mente a quello che non ha guari si è detto.

Ora quando i momenti riferisconsi ad un centro, la distanza si estima per una perpendicolare AC che dal centro A si mena sulla direzione della forza RB; si valuta poi per una perpendicolare BA condotta dal punto di applicazione della forza sull' asse o sul piano, se ad un asse o ad un piano vogliansi riferire. Una cotal differenza potrebbe per avventura far credere i momenti riferiti ad un centro, ad un asse, o ad un piano, essenzialmente differire. Ma, se si porrà mente al modo di operar della forza per produrre il moto di rotazione, del quale da poco si è discorso, si vedrà svanire ogni differenza, perciocchè queste differenti misure son proporzionali, e possonsi usare promiscuamente.

Posto ciò, le direzioni AP, BQ di due forze parallele P, Q le quali operano per lo stesso verso, sieno unite per mezzo della retta YZ (*Tav. agg. fig.* 6 e 7). La direzione della risultante R di queste forze passi per lo punto C della sopraddetta linea. Per un punto qualunque E della linea ZY si conduca in qualunque piano una linea FH, la quale si consideri come l' asse dei momenti. Da' punti di applicazione A, B, C, delle forze P, Q, R si tirino sopra FH le perpendicolari AG, BH, CI, e parallelamente ad FH si tiri per lo punto C la DE che taglia in D ed in E le perpendicolari AG, BH prolungate se l' uopo il richieda; talchè si abbia DG=CI=EH. È chiaro i prodotti R. CI, P. AG, Q. BH essere i momenti della risultante e delle componenti, riferiti all' asse FH. Ma da quello che fu detto nelle note del capo precedente, apparisce essere P. AC=Q. BC, equazione la quale diviene P. AD=Q. BE, essendo CB: CA=EB: AD per la similitudine de' triangoli ADC, BCE.

Ma è ancora la risultante R=P+Q; dunque R. IC=P. IC+Q. IC=Q. HE+P. GD. E poi GD=AD+AG, prendendo il segno + quando F è nel prolungamento di AB come nella *fig.* 6, ed il segno — quando F è nella linea AB come nella *fig* 7; dunque si avrà R. CI=Q. EH+P. AD+P. AG=Q. EH+Q. BE±P. AG=Q. BH±P. AG.

Dunque il momento della risultante è uguale alla somma o alla differenza dei momenti delle componenti al medesimo asse riferiti; cioè alla somma quando questo asse passa per lo prolungamento della linea che unisce le direzioni delle componenti, ed alla differenza quando passa per qualche punto dalla sopraddetta linea.

Si avverta che se la linea FH, che abbiamo supposta inclinata comunque alla YZ, giri in modo che le divenga perpendicolare, le linee AG, BH, CI (che misurano le distanze rispettive delle forze P, Q, R dalla retta FH) gireranno ancora esse, e ridurrannosi tutte secondo YZ; si avrà AG=AF; BH=BF; IC=CF; ma sussisteranno sempre i rapporti dai quali si è dedotto l' antecedente teorema, e l' equazione R. CI=Q. BH±P. AG si ridurrà ad R. CF=Q. BF±P. AF.

Dunque il momento della risultante di due forze parallele riferite ad un punto F preso sulla linea che unisce le direzioni di queste, è

uguale alla somma o alla differenza dei momenti delle componenti riferiti al medesimo punto, secondo che questo punto è preso sul prolungamento della linea AB, come nella *fig.* 6, o nella linea stessa, come nella *fig.* 7.

LIBRO PRIMO

DELLA GRAVITÀ.

CAPO I.

DEGLI EFFETTI E DELLA DIREZIONE DELLA GRAVITA'.

35. I corpi, se vengono a se stessi abbandonati, cadono fino a che non toccano la superficie della terra o qualche altro corpo che li trattenga. Questo fenomeno interviene sulla superficie della terra, come continuamente osservasi, ed anche nel cielo a grandi altezze, e puossi giudicarlo dalla grandine e dalla pioggia che cadono dall'altezza delle nubi; esso ha luogo anche a grandi profondità sotto la superficie della terra, siccome osservasi ne'pozzi, nelle cantine, nelle cave le più profonde che siansi potute scavare. Se le montagne sprofondano, la ragione è perchè ne vien meno la base, la quale sicuramente trovasi ad una profondità maggiore di quella delle cave: esse cadono per mancanza di un sostegno valevole a reggerne il peso. Or la materia essendo inerte, e non potendo da se nè porsi in moto, nè alterare quello che ha, chiaro si scorge che essa non potrebbe discendere verso la terra, perciocchè dovrebbe dar moto a se stessa: conviene dunque che siavi una forza che la faccia cadere, alla quale si è dato il nome di *gravità*.

Onde la *gravità* è la forza che fa *cadere* i corpi. Ma questa definizione darebbe della gravità un'idea molto imperfetta, se si volesse supporre la gravità non potere altro effetto produrre tranne quello di far *cadere* i corpi. Conviene osservare altri fenomeni ed altri moti i quali da questa forza produconsi, nel comune linguaggio con diverse voci indicati. Tal è per esempio il moto dei liquidi che scorrono dai vasi, il moto de' fiumi verso del mare, il moto del sughero e de' corpi leggieri i quali dal fondo dell' acqua salgono verso la superficie: è tale anche il moto del fumo, della nebbia, e de' palloni che salgono nell' aria. Tutt' i fenomeni che sembrano contraddire la gravità, altro non sono che svariati effetti della stessa forza che *gravità* abbiam chiamata.

Per comprendere interamente una forza pei suoi risultamenti cotanto feconda, dobbiamo esaminare tutti i moltiplici fenomeni che essa può produrre, ed indi le leggi secondo le quali opera, a tenòre dei luoghi ne' quali trovansi i corpi, e secondo la disposizione delle particelle de' medesimi e la materia dalla quale son formati.

Vedrem tosto la gravità operare quasi su tutt'i corpi i quali possono essere oggetti di nostra osservazione, ma operare su di essi per farli cadere con differenti velocità. Le pietre ed i metalli cadon più celeri de' legni e delle altre sostanze vegetabili: v' ha de' corpi, quali sono le piume, la calugine, i fiocchi di neve, che sembrano appena pesanti, perciocchè galleggiano nell'aria e cadono con somma lentezza. Da questi primi fatti segue che, se la gravità non è una forza universale, è almeno generale assai, perciocchè solo un picciol numero di corpi, quali sarebber la fiamma ed il fumo, sembrano sottrarsi al suo potere. Questo almeno interviene ne'nostri climi, e di ciò siam testimoni fin dalla nostra prima età: ma la terra è sì grande, che noi siam curiosi di sapere ciò che in altri luoghi avviene, vale a dire sui mari lontani, sulle isole, sui continenti che non hanno le medesime stagioni, nè la stessa posizione per rispetto all' asse del mondo. Toccava a' viaggiatori d' instruirci intorno a queste cose, ed essi ci assicurano che sebbene da un paese all' altro veggansi variare gli uomini, l'aspetto del cielo, le produzioni del terreno, pure avvi una cosa che in mezzo a tante varietà invariabile rimane, e questa è la gravità: essa opera dovunque sempre nella stessa guisa, tanto sulla superficie del mare quanto sulla terra ferma, tanto nelle regioni polari quanto nelle regioni equatoriali. E sebbene alcune picciolissime differenze si rinvengano, pure queste non sono punto sensibili nei più comuni fenomeni; e però può bene affermarsi non solo la gravità operare su tutt'i corpi, ma operare anche presso a poco della stessa maniera su tutti i corpi posti sul vasto spazio del globo terrestre.

36. *Direzione della gravità.* Per determinare la linea per la quale i corpi cadono, si potrebbe seguirli con l' occhio accostandovi un regolo dritto rasente il quale dovessero discendere; ma si presenta un mezzo più spedito, il quale consiste nel fissare l' estremo di un filo legando all'altra estremità una pallina alquanto pesante. La direzione del filo quando è in quiete, è appunto la direzione della gravità; perciocchè, se questa operasse secondo un'altra linea, trarrebbe il corpo secondo quest' altra direzione. Questo piccolo strumento vien detto *filo a piombo* o anche pendolo, e la linea nella

quale disponesi allorchè è in quiete dicesi *verticale* (*fig.* 28); onde la direzione della gravità è quella del filo a piombo o della verticale, e non v'ha cosa più facile quanto il rinvenirla in qualunque luogo della terra.

Supponiamo che avendo fatto ieri cotesta esperienza, oggi la facciam di nuovo; non potremo punto conoscere se fra questo tempo il filo a piombo abbia sofferto alcun cambiamento. Uopo sarebbe avere de' punti fissi cui si potessero riferire le direzioni del filo, per paragonarle dopo. Un solidissimo edifizio non può aver mai una stabilità sì grande da soddisfare a questo obbietto; imperocchè se dopo qualche tempo non si trovasse più il filo a piombo nella medesima linea per rispetto al muro o alle sue estremità, non saremmo nel caso di poter conchiudere alcuna cosa; sapremmo solo essere intervenuto un cambiamento, ma ignoreremmo se questo si dovesse alla direzione del filo o alla poca stabilità dell'edifizio attribuire. La schiena o i burroni delle montagne non sarebbero segni men dubbi; perciocchè un monte sulla terra è anch'esso una cosa instabile, bastandovi un tremuoto per rovinarlo. Per la qual cosa essendo tutto mobile intorno a noi, non possiam mai avere un punto fisso nè sulla pianura, nè sulle montagne, per poter giudicare se la gravità sia costante o varii col decorso dei secoli.

Fortunatamente abbiamo un altro mezzo; imperocchè la superficie del mare, tuttochè mobilissima, ci presenta nella sua general direzione e ne' suoi limiti la più grande stabilità che osservar si possa sulla terra; dappoichè un cambiamento di livello, anche picciolissimo, grandi inondazioni e forse anche un diluvio produrrebbe; ora, non per un caso, ma per una ragione della quale discorreremo in Idrostatica, avviene che la direzione della gravità sia perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti; dunque se la gravità variasse, varierebbe anche il mare, e però puossi da questo conchiudere la direzione della gravità esser costante.

In vece di dire esser la direzione della gravità perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, alle volte dicesi perpendicolare alla superficie della terra. Ma ognun comprende non volersi intendere la superficie reale con le valli e co' monti, ma una superficie immaginaria che si considera nella seguente maniera. Figuriamoci che l'Oceano Atlantico, il Mare del Sud, e tutt' i mari che hanno scambievole comunicazione, sian per poco tranquilli: l'ampia superficie di essi sarà una porzione di superficie sferica, il perimetro della quale sarà determinato dalla sinuosità de' lidi. Supponiamo intanto prolungate queste superficie in guisa da conservare l'andamento di lor curvatura, in modo che penetrando sotto la terra si congiungessero: esse farebbero un globo di superficie perfettamente levigata senza monti e valli. Questa superficie in parte esistente, in parte immaginata, dicesi *superficie della terra*, *superficie di livello*, *superficie orizzontale*, espressioni tutte sinonime. Allorchè dicesi essere l'osservatorio di Parigi a 65 metri al di sopra della superficie del mare, ciò significa che, se questa superficie fosse prolungata, passerebbe al di sotto del pianterreno dell'osservatorio ad una profondità di 65 metri. Al contrario vi sono in Olanda delle pianure le quali sono al disotto del livello del mare, vale a dire che la superficie prolungata passerebbe sul capo degli abitatori di queste pianure.

La *superficie della terra*, quale si è per noi definita, potrebbe col tempo innalzarsi o abbassarsi, allontanarsi dal centro o avvicinarsi al medesimo; ma se, per qualche causa interna o esterna, essa perder potesse la sua figura, tosto la terra cambierebbe il suo moto diurno, uscirebbe dalla sua orbita, che va percorrendo da tanti secoli, e sarebbe forse spinta in qualche altro angolo dell' universo. Per la qual cosa la stabilità della superficie delle acque dipende da quella della terra e del mondo.

La superficie di un lago, sia nelle pianure, sia sulle montagne, è anche una superficie di livello, vale a dire che se dalle sue sponde si abbassassero delle perpendicolari sulla superficie innanzi detta, queste vi segnerebbero una superficie simile a quella del lago ed in tutti i punti equidistante da essa. Lo stesso dee dirsi delle superficie delle acque stagnanti, o che si considerino nella profondità de' pozzi, o ne' vasi ampi, perciocchè tutte sono orizzontali e tutte sono perpendicolari alla direzione della gravità.

Da queste fondamentali verità segue che tutte le direzioni della gravità concorrono verso il centro della terra, perciocchè tutte le perpendicolari ad una superficie perfettamente sferica vanno ad unirsi al suo centro. Così $a\ b\ p\ d\ x$ (*fig.* 29) rappresenti la sezione della terra fatta secondo il meridiano di Parigi, ed ax sia l'asse di rotazione: succede per le distanze in latitudine che Parigi sta in p, essendo ph il suo orizzonte, ed il suo filo a piombo pc; che Dunkerque sta in dc ad una distanza di 2° 11′ 56″, la linea orizzontale di Dunkerque in dh', ed il suo filo a piombo nella direzione di d; finalmente che Barcellona sta in b a 7° 28′ 29″ più verso il mezzogiorno, l' orizzontale di Barcellona è in bh'', ed il suo filo a piombo in bc.

Un osservatore il quale si trovasse molto

lungi dalla terra, da potere osservare nello stesso tempo il filo a piombo di Parigi e quello di Barcellona, vedrebbe che essi son veramente inclinati l'uno verso l'altro di 7° 28′ 29″, e potrebbe inferirne che essi incontrerebbonsi nel centro della terra. Allorchè si fanno l'esperienze in picciole estensioni, come in un appartamento o in una grande città, i fili a piombo sembrano perfettamente paralleli, perciocchè il centro il quale è il punto ov'essi dirigonsi sta ad una distanza di circa 1432 leghe ognuna di 2280 tese, o di 1632 leghe di posta ognuna di 2000 tese: ora 100 tese, per esempio, essendo quasi la trentamillesima parte di questa distanza, due fili a piombo, i quali sono fra loro per 100 tese lontani, danno un'inclinazione di 6″, 3. Ma, se è così, non si saprebbe a prima vista intendere come si possa misurare l'angolo di due verticali appartenenti a due punti diversi: perciocchè se questi punti son vicinissimi, l'angolo riesce piccolissimo ed incapace di esser misurato; se poi son molto lontani, non si può nello stesso tempo veder le direzioni delle due verticali, nè l'angolo che esse fanno: ogni misura dunque sembrerebbe impossibile, e lo sarebbe di fatti, se non avessimo nel cielo de' punti di osservazione de' quali possiamo giovarci. Le stelle sono per gli abitatori terrestri come dei bastoni da livello; e però osservando queste noi possiamo misurare i nostri angoli e segnar le nostre linee. La distanza del sole dalla terra è di 35 milioni di leghe, quella della terra dalle stelle è di 400 o 500 mila volte 35 milioni di leghe; onde in qualunque punto della sua orbita la terra ritrovisi, in qualunque punto della superficie terrestre sia posto un osservatore, i raggi visuali diretti alla stella medesima son sempre linee parallele.

Premesse tali cose, quando una stella passa per lo meridiano e viene osservata contemporaneamente da Dunkerque e da Parigi, i due raggi *de'* e *pe* (*fig.* 30) son paralleli, ma i due angoli che essi fanno con le verticali sono disuguali, e l'angolo di Parigi *epv* è precisamente eguale all'angolo di Dunkerque *e'do'*, ed all'angolo *pcd* delle due verticali, il quale per conseguenza esprime la distanza angolare di Dunkerque da Parigi

Ecco dunque qual direzione prende la gravità intorno intorno alla terra, e come è possibile di paragonar questa direzione nei differenti luoghi. Qui si presenta da se una conseguenza, la quale è, che dopo aver osservato l'angolo delle verticali di Dunkerque e di Parigi ed averlo trovato di 2° 11′ 56″, si può misurare in tese o in metri la distanza di queste due città; e, conoscendo in tal guisa la lunghezza di quest'arco di 2° 11′ 56″, si può dedurre l'intera lunghezza della circonferenza della terra; e quindi la misura del suo raggio, siccome in uno de'seguenti capi si dirà.

CAPO II.

DELLA CADUTA DE' CORPI E DELLE LEGGI DELLA GRAVITA'.

37. Allorchè si fa cadere una palla di piombo ed un picciol disco di carta, si resta maravigliato in vedere la differenza delle velocità, perciocchè la palla cade velocissimamente, e la carta con molta lentezza; e puossi anche osservare che il primo di cotesti corpi cade a piombo seguendo la verticale, mentre l'altro più o men divertendone scende per una linea tortuosa. Questo fatto è prodotto dall'aria; imperciocchè i corpi non possono cadere senza rimuoverla, e quindi senza divider con essa il moto che hanno, ed in questa divisione la carta perde più moto del piombo. Si avrebbero effetti analoghi ed anche più sensibili, se si facesse cadere differenti corpi in un tubo pieno d'acqua, essendo la resistenza dell'acqua maggiore di quella dell'aria.

Per poter conoscere il vero moto de' gravi, converrebbe farli cadere nel vôto (§ 2), vale a dire in uno spazio nel quale non vi fosse nè aria, nè acqua, nè alcun'altra materia che presentar potesse resistenza opponendosi alla forza di gravità. Uno spazio di questa natura si ottiene per mezzo della macchina pneumatica, la quale ci dà il vôto estraendo l'aria da un recipiente, siccome appresso si dirà. Con l'aiuto di questa macchina si fa l'esperienza della caduta de'gravi nel modo che segue.

Si prende un tubo di vetro della lunghezza di otto o dieci piedi, chiuso da una parte ed armato dall'altra di una chiavetta (*robinet*) della forma comune, capace a mantenere il vôto: per lo forame della chiavetta si fanno entrare nel tubo de'pezzetti di piombo, di carta, di piume ec.: si fa il vôto con molta diligenza, e chiudesi la chiavetta. Allora capovolgendo il tubo in un attimo, per recarlo in posizione verticale, si vedrà cader tutti siffatti corpi nell'inferno di questo con la stessa velocità, in guisa che tutti giungeranno a toccare il fondo del tubo nello stesso tempo.

Questa esperienza puossi modificare in guisa da render sensibile il progresso del fenomeno: si apra un pocolino la chiavetta, e poi tosto si chiuda; allora un poco d'aria è già entrata nel tubo, come si è potuto giudicare dal sibilo che si è inteso; ora nel capovolgere il tubo come

poco prima si è fatto, si noterà un poco di differenza nel tempo della caduta, imperocchè la carta e la piuma cadranno dopo del piombo. Un poco d'aria di più fa crescere il ritardo, e così progressivamente, fino a che essendo entrata interamente l'aria nel tubo, la caduta avverrà come nell'aria libera.

Onde se la gravità opera sola, se non le si oppone alcuna resistenza che impedisca i suoi effetti, essa spingerà i corpi con pari energia, dando ad essi la stessa velocità, sia quale si voglia il peso e la sostanza de'medesimi. Nel vòto, una massa d'oro di cento libbre non cadrebbe con maggiore velocità di un pezzetto d'oro fatto a foglia o di un pezzetto di carta; una montagna non cadrebbe con velocità maggiore di una piuma (1).

38. Dopo di aver dimostrato co'fatti che tutt'i corpi cadono con la stessa velocità, uopo è cercare quale è questa velocità che regola la caduta di ogni corpo, ed in generale, quale relazione vi ha tra lo spazio che un grave percorre ed il tempo che impiega a percorrerlo. E questa relazione appunto sarà la legge della gravità, vale a dire la legge del moto che la gravità imprime a'corpi.

E siffatta quistione non può in una maniera diretta esser risoluta, perocchè i gravi cadendo van sì presti, che dopo un tempo brevissimo non è possibile di notar lo spazio che percorrono. Ma quello che non puossi mercè di osservazioni dirette conseguire, si ottiene per alcuni mezzi indiretti; de'quali il più semplice è il *piano inclinato del Galilei*, ma il più esatto si ha nella *macchina di Atwood*.

39. *Piano inclinato del Galilei*. Il così detto piano inclinato del Galilei, in effetti, altro non è se non una linea inclinata sulla quale scorre un mobile; esso riducesi ad una corda levigatissima, della lunghezza di venti o trenta piedi, la quale si tien tesa fra due punti fissi, l'uno de'quali è dell'altro più basso, e sulla quale si fa scorrere un piccol carretto o una pulegia di metallo convenevolmente disposta. Se la corda fosse orizzontale, la gravità della pulegia sarebbe interamente distrutta; avrebbe al contrario tutta la sua efficacia se fosse verticale, ma, essendo in vece inclinata, la gravità sarà ridotta ad una certa proporzione. Egli è facile di vedere mercè le regole della Statica, che il valore della gravità sul piano inclinato è eguale al suo valore primitivo moltiplicato per lo seno dell'angolo dell'inclinazione del piano. Ma sia quale si voglia la ragione secondo la quale una forza diminuiscasi, riducasi pure alla sua metà, terza o quarta parte, altro non si cambierà fuorchè il moto assoluto che essa dà, senz' alterare per nulla la relazione tra lo spazio ed il tempo. E però, la legge alla quale vedremo ubbidire i corpi che scendono per questo piano inclinato, sarà la vera legge della gravita. Or se si lasci scendere il carretto per un dato tempo, se si noti lo spazio percorso nel primo minuto secondo di tempo, ne' due primi ec., si troverà che questi spazi saranno come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. Dunque il moto prodotto dalla gravità segue la stessa legge, onde essa è una forza acceleratrice costante (§ 34) (2).

40. *Macchina di Atwood*. Cotesta macchina

(1) Che tutti i corpi nel vòto dovesser cadere con la stessa velocità, fu dagli antichi sospettato; onde Lucrezio nel libro II *De rer. nat.* della gravità discorrendo dice:

Omnia quapropter debent inane quietum
Aeque, ponderibus non aequis, concita ferri.
Onde tutte le cose ancor che mosse
Da pesi disuguali, aver dovranno
Par lo vano quieto egual prestezza.

Il Galilei poi nel Dialogo I. ed in una lettera indiretta al Bertizzolo, sostenne con ragionamenti la stessa verità, che si studiò anche con alcune esperienze di confermare. Finalmente il Newton tolse quasi ogni dubbio, ed ora ogni macchina pneumatica va corredata del cilindro per esperimentare la discesa dei gravi nel vòto, ed in mancanza del tubo si può porre un pezzettino di carta sopra una piastrina metallica, per esempio una moneta, ed indi far cadere la moneta con la carta: se la moneta cadendo si mantiene orizzontale, la carta giungerà a terra nello stesso tempo, perocchè l'aria fa resistenza solo alla moneta. Da questa verità di fatto ne segue immediatamente una altra, ed è che la gravità sia una forza proporzionale alle masse: conciossiachè si sa per le cose innanzi dette, che quando $V=v$ allora convien che si abbia $F:f=M:m$, cioè che velocità eguali suppongono forze proporzionali alle masse.

(2) Sia il piano AB comunque inclinato all'orizzonte (*Tav. agg. fig.* 13), e sopra di esso sia il corpo *mnpqr*; è chiaro una parte della gravità di questo corpo dover rimanere distrutta dalla resistenza del piano AB. La linea DO perpendicolare all'orizzonte rappresenti la *gravità assoluta* del corpo, cioè quella con la quale esso scenderebbe per la libera verticale; risoluta questa nelle due DG, DE, una delle quali sia perpendicolare, l'altra parallela al piano, si vedrà chiaramente il corpo doversi muovere lungo il sopraddetto piano solo per effetto della $DE=GO$; onde, volendo conoscere qual ragione serbi alla gravità assoluta questa forza che *gravità relativa* suolsi chiamare, converrà por mente alla similitudine de' due triangoli ABC, DGO, da' quali si ha $DO:OG=AB:AC$; onde, chiamando g la gravità assoluta e g' la relativa, sarà $g:g'=AB:AC$, e però $g'=g.\frac{AC}{AB}$. Che se si consideri essere $AB:AC=1:\text{sen. }B$, allora sarà la gravità relativa, o $g'=g.\text{ sen. }B$, come l'Autore ha enunciato. Dalla espressione $g'=g.\frac{AC}{AB}$ si vede la gra-

è rappresentata dalla *fig.* 31. Ma per rendere il ragionamento più semplice, noi la ridurremo a' suoi elementi essenziali, vale a dire ad una girella perfettamente mobile, sulla quale passa un filo finissimo, tirato da' due estremi da eguali pesi m (*fig.* 32.) L'equilibrio ha luogo non solo quando i due pesi sono a livello, ma anche quando uno è più alto ed un altro più basso, siccome puossi con l'esperienza facilmente conoscere. Aggiungiamo intanto da una parte un piccolo peso, che esprimiamo con n, è facile ad intendere esser distrutto l'equilibrio, ed il peso n trarre in basso il peso sul quale si trova, ed in alto l'opposto

Ma quale sarà il moto che dee prodursi? Sarà forse lo stesso di quello che il grave n acquisterebbe per la libera caduta, o rimarrà alterato per lo grave opposto che muovesi con esso?

Le due masse primitive non avendo altro moto tranne quello ad esse impartito dal grave n, si rende aperto non poter questo darne a tali gravi, se non scemando il proprio, perdendone quanto ne dà; e però dover scendere con velocità minore di quella con la quale scenderebbe se fosse solo. È facile poi il conoscere di quanto questa velocità sia scemata.

Sia g la velocità che un corpo dalla gravità riceve in un minuto secondo di tempo; la massa n dunque, cadendo liberamente, avrebbe alla fine di un secondo la stessa velocità g, e però una quantità di moto gn.

Sia x la velocità sconosciuta che dopo un secondo avrebbero le due masse m e la piccola massa n cadendo unite; la quantità di moto del sistema sarà $x(2m+n)$, imperciocchè la massa in moto da una parte è m, e dall'altra $m+n$, la somma delle quali è $2m+n$. Ora in un minuto secondo la massa n riceve dalla gravità la stessa quantità di moto, sia che cada liberamente, sia che soffra un certo ritardo per cagione di altra massa. Dunque $x(2m+n)=gn$, d'onde ricavasi $x=g.\frac{n}{2m+n}$. Ed ecco la velocità con la quale cade un corpo nella macchina di Atwood. Essa è sempre minore di g, e può esserne una frazione picciola per quanto ci piacerà. Se vogliasi, per esemio, che ne sia un centesimo, basterà il porre $\frac{n}{2m+n}=\frac{1}{100}$, d'onde ricavasi $100n=2m+n$, ed $n=\frac{m}{49,5}$; vale a dire che in ciascuno istante la velocità della caduta nella macchina di Atwood è la centesima parte della velocità della caduta libera, quando la massa aggiunta è la parte 49,5 di una delle masse primitive. E prendendo per esempio, $n=10^{gr}$, ed $m=495^{gr}$, la condizione sarà adempita.

Avvi grande utilità nel ridurre così la velocità dei gravi cadenti; perciocchè puossi allora non tener conto della resistenza dell'aria, e misurare gli spazi percorsi con maggiore esattezza. Cotal riduzione di velocità è il vero principio della macchina di Atwood. Eccone intanto la disposizione:

1°. Per evitare l'attrito ciascuna estremità dell'asse della girella si fa posare su due altre rotelle minori, i cui assi terminano in punte le quali girano ne' corrispondenti buchi fatti in acciaio o in agata (*fig.* 34).

2°. Per misurare con esattezza gli spazi, suolsi porre vicino alla colonna una riga verticale e divisa r, in modo che la massa $m+n$ debba seguirla nella sua caduta senza toccarla. Su questa riga muovonsi due pezzi corsoi, l'uno a in forma di anello entro il quale possa passare la massa m ed arrestare l'altra n la quale perciò si fa più lunga, e l'altro c di figura spianata per poter trattenere la massa m fermandola dove si vorrà.

3°. Per misurare il tempo durante il quale il mobile ha camminato, si aggiusta vicino alla macchina un orologio a secondi h, e si fa comunicare con un *grilletto* particolare d, il quale sostiene la massa $m+n$ di rincontro alla parte superiore della riga ove sia lo zero della sua divisione.

In un istante dato il grilletto si rimuove, il peso cade, e l'orologio continua a segnare il tempo che passa (*fig.* 31 e 33).

Le sperienze si fanno nel modo seguente. Si situa l'anello della riga ad una altezza tale da rattenere la massa n dopo un secondo di tempo da che il corpo abbia cominciato a discendere. Per conseguire ciò, s'innalza o si abbassa l'anello a poco a poco, fino a che il romore che fa la massa n nel colpirlo coincida esattamente con la oscillazione dell'orologio la quale indica la fine del minuto secondo. Quando n si è arrestata non cessa ogni moto, perciocchè

vità relativa esser sempre una frazione della gravità assoluta, essendo sempre AC < AB; e però la forza acceleratrice per lo piano inclinato potrassi diminuire ad arbitrio, fino a che non sia distrutta dall'attrito. E per fermo, volendo fare che la gravità relativa sia $\frac{1}{64}$ della gravità assoluta, basterà fare AB: AC=64: 1, e si avrà tosto $g'=\frac{1}{64}g$.

le masse m hanno una *velocità acquistata*, mercè la quale esse continuano a muoversi; la gravità però non più opera per alterare il moto di queste, perocchè essendo n tolta, è tolta la forza acceleratrice, ed il moto che segue è mestieri che sia uniforme. Ora dopo ciò che si è detto (§ 33) segue, la velocità di questo moto uniforme essere appunto quella del moto accelerato che avrebbe luogo alla fine del primo minuto secondo, e per rinvenirla essere sufficiente di collocare il pezzo corsoio c di maniera che m venga a colpirlo precisamente un secondo dopo che n sia arrestata, vale a dire due secondi dopo la partenza di n. Allora la distanza tra i due pezzi corsoi a e c è lo spazio che m ha percorso in un minuto secondo con moto uniforme: questo dunque esprime non solo la velocità di tal moto uniforme, ma anche quella del moto uniformemente accelerato. Fassi una seconda esperienza col torre la massa n dopo due secondi: fassene una terza togliendola dopo tre secondi, e così hassi la velocità del moto accelerato dopo uno, due, tre secondi. Trovasi queste velocità esser precisamente tra loro come uno, due, tre; dunque esse crescono in proporzione dei tempi; dunque il moto del quale si parla è uniformemente accelerato.

Questo risultamento sarebbe sufficiente per farci conchiudere, lo spazio percorso con moto uniformemente accelerato durante un certo tempo esser la metà di quello percorso nel tempo medesimo col moto uniforme che ad esso succede. Ma si potrà direttamente la stessa cosa conoscere, perciocchè in ciascuna delle antecedenti esperienze la distanza dei pezzi corsoi è doppia della distanza dell' anello dal punto di partenza.

Similmente potrebbesi dedurre, mercè il calcolo, che gli spazi sono come i quadrati dei tempi; ma è facile l'intendere come puossi dimostrare anche per mezzo della macchina.

Queste esperienze corrispondono a quelle con le quali il Galilei provava che la gravità che ha luogo sulla superficie della terra è una forza acceleratrice costante. La caduta nel vuoto ha fatto già conoscere che essa opera egualmente sopra tutti i corpi. Onde tutte le molecole materiali, sia qualunque la forma o la natura di esse, soggiacciono all'azione di questa forza.

Premesse tali cose, potrassi di leggieri comprendere che le leggi del moto ingenerato per gravità possonsi esprimere con le formole generali del moto uniformemente accelerato (§. 34)

$$v = gt$$

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

nelle quali si deve sostituire invece di g il valore che appartiene alla gravità. Ognuno ricorderassi che g dinota la velocità che la forza acceleratrice dà al corpo durante l'unità di tempo, e ricorderassi egualmente che questa velocità è doppia dello spazio che la forza fa percorrere durante la stessa unità; onde g è uno spazio ovvero una lunghezza. Noi faremo conoscere appresso un esattissimo mezzo per trovarne la misura, e vedremo che prendendo il minuto secondo per unità di tempo, il valore di g è a Parigi

$$g = 9^m,8088.$$

Con questo dato puossi ciascuno esercitare a risolvere molti problemi intorno al moto dei gravi (1).

CAPO III.

DEL CENTRO DI GRAVITA' — DELL' EQUILIBRIO DEI SOLIDI — DELLA BILANCIA — DEL PESO, DELLA MASSA E DELLA DENSITA' DEI CORPI.

41. Un corpo grave grande o piccolo può esser considerato come un' unione di un infinito

(1) Il valore di g suolsi esprimere anche in piedi inglesi 32,5, parigini 30,183, e l' altezza della macchina di Atwood è comunemente divisa in pollici inglesi. Dalle formole del moto uniformemente accelerato si hanno i tempi come le radici degli spazi, e gli spazi come i quadrati dei tempi. Quindi se lo spazio del primo minuto secondo si consideri come 1, esso sarà 4, 9, 16, 25, dopo il secondo, il terzo, il quarto, il quinto minuto secondo: onde sapendo il valore di g e sapendo il tempo, si potrà conoscere lo spazio percorso in un dato tempo dal principio della caduta. Volendosi poi sapere gli spazi parziali percorsi in ciascuno istante, s' intenderà facilmente che converrà dallo spazio totale di ogni istante levarne quello che appartiene agl'istanti antecedenti, e però si conoscerà esser gli spazi parziali come la serie dei numeri caffi 1, 3, 5, 9, ec. Volendo finalmente sapere il tempo conoscendo lo spazio, converrà prima ridurre questo ad unità di gravità, dividendolo per $\frac{1}{2}g$, e poi estrarre dal quoziente la radice quadrata. E ciò s' intende senza tener conto della resistenza dell' aria.

Nella macchina di Atwood poi, come nel piano inclinato del Galilei, puossi la forza acceleratrice ridurre ad una frazione di g a piacimento di chi vorrà far la esperienza, siccome apparisce dalle formole esposte dall' Autore: quindi è che aggiungendo una massa n tale che riduca la forza acceleratrice ad $\frac{1}{64}$ si vedrà che lo spazio che dovrà percorrere la massa $m + n$ nel primo minuto secondo dovrà essere di tre pollici, che sono $\frac{1}{64}$ di sedici piedi: sperimentando sulla macchina si potranno vedere eseguite le leggi di sopra esposte.

numero di punti materiali ciascuno dei quali è spinto dalla gravità.

A tutte queste forze, sebbene infinite di numero, puossi una sola forza sostituire, in un certo punto applicata; e questa forza altro non è che la somma o la risultante di tutte le azioni della gravità, le quali dicesi il *peso* di un corpo, ed il punto ove essa è applicata dicesi il *centro di gravità* del medesimo.

Questa definizione basta per non confondere la gravità col peso; imperciocchè la gravità è la forza elementare che spinge generalmente ogni particella di materia, ed il peso di un corpo è la somma di tutte le azioni che la gravità particolarmente manifesta sopra di un corpo. Importantissima cosa è il saper determinare il peso ed il centro di gravità dei corpi, perciocchè allora potrassi sostituire il peso, il quale è una forza sola, a tutte le forze elementari operanti su di un corpo, ed il centro di gravità, che è un punto solo, all' unione dei punti che il corpo medesimo costituiscono; e quindi una massa pesante, sia qualsivoglia la sua grandezza e la sua forma, potrà esser considerata come un sol punto che da una sola forza è spinto.

42. *Del centro di gravità.* In un corpo grave, il quale non abbia un' estensione di alcune centinaia di tese, le azioni della gravità su ciascuna molecola di esso possonsi come parallele considerare, perciocchè esse concorrono verso il centro della terra e son tutte eguali, cadendo tutte, nel vôto con pari velocità; onde *il centro di gravità* non è altro se non che un *centro di forze parallele ed eguali*. Da ciò segue un carattere distintivo del centro di gravità, di essere, cioè, fisso all' interno del corpo solido, e non cambiar luogo, sia qualunque la posizione che diasi a questo corpo rispetto alla gravità.

Per esempio, il punto *g* (*fig.* 35) essendo il centro di gravità del triangolo *abc*, allorchè il punto *c* è in alto, esso sarà anche il luogo del centro di gravità quando il punto *c* è in basso, o in qualunque altra posizione che potrebbesi dare ad esso, perocchè il punto di applicazione della risultante delle forze parallele è indipendente dalla direzione delle forze (§ 21).

Acciocchè un corpo sia in equilibrio, è mestieri ad una sola condizione soddisfare, cioè che il centro di gravità sia sostenuto. E però se il centro di gravità è un punto fisso, potrassi il corpo per tutti i versi girare, e starà sempre in quiete, perchè sempre in equilibrio. Se ne può far l'esperienza con un disco omogeneo girevole intorno di un asse orizzontale che passi per lo centro. Allorchè un corpo è sostenuto per un punto diverso dal centro di gravità, l'equilibrio è ancora possibile, ma solo in due giaciture, cioè quando il centro di gravità è nella verticale del punto fisso, o al di sopra, o al di sotto di questo punto. Se ne può fare l'esperienza con un disco omogeneo girevole intorno ad un asse orizzontale che non passi per lo centro.

Da ciò segue un mezzo sperimentale per rinvenire il centro di gravità di un corpo. Leghisi il corpo con un filo in un punto qualunque *c* della sua superficie (*fig.* 36) e poi sospendasi, e quando è in quiete si segni colla maggior possibile precisione il punto *m* dove il producimento del filo verrebbe a penetrar la inferiore superficie; il centro di gravità convien che si trovi necessariamente sulla linea *cm*. Poscia si ricominci l' esperienza legando il corpo per un altro punto *a*, e segnando parimenti il corrispondente punto *m'*; il centro di gravità dovrà anche ritrovarsi nella linea *am'*. Dunque esso sarà nel punto ove segansi le linee *cm* ed *am'*. Nei corpi molto pesanti potrebbe farsi l'esperienza in verso contrario, girandoli su i loro tagli, o poggiandoli sopra sostegni di piccola estensione. Ma per corpi omogenei aventi figure regolari, il centro di gravità si rinviene mercè alcune considerazioni geometriche molto semplici:

Linea retta. Il centro di gravità è evidentemente alla metà della sua lunghezza.

Cilindro a basi parallele. Il centro di gravità è nella metà dell'asse (*fig.* 42, 43 e 44).

Parallelogrammo. Il centro di gravità sta nell' intersezione delle diagonali, perciocchè ogni diagonale divide la figura in due parti eguali. Potrebbe dirsi lo stesso per un parallelogrammo cavo come un quadro.

Cerchio. Il centro di gravità è nel centro del cerchio; questo punto è egualmente il centro di gravità della circonferenza, e quello dell'anello compreso tra due circonferenze concentriche (*fig.* 45).

Triangolo. Si tirino le linee *de*, *fg*, ec. parallele alla base (*fig.* 37); indi la linea retta *am* che divide in due parti eguali questa base e tutte le parallele alla stessa; si compiano i parallelogrammi *dbce*, *hkli* ec. con linee parallele ad *am*. La linea *am* passa per lo centro di gravità di tutti i parallelogrammi esterni, ed anche per lo centro di gravità di tutti i parallelogrammi interni al triangolo; e vi passa, sia qualunque la grandezza di questi parallelogrammi. Or siccome gli uni di essi sono circoscritti al triangolo e gli altri inscritti nel medesimo, e siccome al loro limite di picciolezza vanno a confondersi con esso, conviene egualmente che il centro di gravita trovisi su di *am*; per la stessa ragione esso dovrà stare su di *bm'* (*fig.* 38); dunque esso

starà in g che è il punto d'intersezione di queste; e dai triangoli simili abg ed mgm' segue che gm sia la metà di ag, o che il punto g sia ai due terzi di am partendo dal punto a.

Poligoni. Questi si decompongano in triangoli (*fig.* 39), dei quali si trovino i centri di gravità; quindi si considerino le forze applicate ai centri di gravità dei triangoli come proporzionali alle superficie dei medesimi, e, cercandone la risultante colle solite regole, il suo punto di applicazione sarà il centro di gravità.

Piramide triangolare. Si tiri una linea dal vertice s (*fig.* 40) al punto g centro di gravità della base abc, e dimostrerassi facilmente, facendo dei segmenti inscritti e circoscritti come si è fatto pei triangoli, che il centro di gravità debba ritrovarsi sulla linea sg, che esso sia egualmente sopra sg', e quindi che debba essere in g'' punto di intersezione di queste linee. E dal paragone dei triangoli simili potrà conchiudersi esser questo punto g'' ai tre quarti di sg computandoli dal vertice. Una piramide qualunque può decomporsi in piramidi triangolari e quindi può giungersi a conchiudere che in ogni caso il centro di gravità d' una piramide sia sulla linea che unisce il vertice col centro di gravità della base, ai tre quarti al disotto del vertice.

Poliedro. Si risolve in piramidi, siccome il poligono in triangoli.

Cono. Questo trattasi come una piramide (*fig.* 41).

Sfera. Il centro di gravità è nel centro della sfera: dicasi lo stesso per una superficie sferica e per un segmento compreso da due sfere concentriche (1).

43. *Dell'equilibrio*. Abbiam già veduto che la sola condizione per l'equilibrio d' un grave è che il suo centro di gravità sia sostenuto; ma questa condizione può essere in diverse maniere soddisfatta, secondo che il corpo è sospeso ad un punto fisso, o poggiato su qualche sostegno.

1°. Supponiamo per esempio un disco omogeneo (*fig.* 46) forato da tre buchi eguali a,b,c, il centro di gravità del quale sia nel centro della figura: questo disco sarà in equilibrio in qualunque giacitura intorno ad un asse che passi per lo buco centrale, e questo dicesi equilibrio *indifferente*. Se poi l'asse passi per lo forame superiore b, l'equilibrio sarà *stabile*, perciocchè il corpo tende a ritornare in questa posizione, se alcuno lo rimuova; scorgesi in fatti che, facendo girare un poco il disco intorno di quest'asse, il centro di gravità scosterassi a destra o a sinistra sull'arco mn. Esso non è più sostenuto, perciocchè non è più nel piano verticale dell' asse di sospensione e discende per ritornarvi dopo una serie di oscillazioni. Se l'asse poi passi per lo buco inferiore c, il disco potrà anche matematicamente essere in equilibrio, e ciò avrà luogo se il centro di gravità troverassi precisamente nel piano verticale dell'asse: ma questo equilibrio è *instabile*: in fatti tostochè il centro di gravità esce fuori di questo piano, devierà sempre più descrivendo una mezza circonferenza per andare a fermarsi al di sotto dell'asse di sospensione.

Generalizzando questi risultamenti si vede, che un corpo qualunque sospeso per mezzo di un asse, può trovarsi in equilibrio *stabile*, *instabile*, o *indifferente*, secondo che il suo centro di gravità sia al di sotto dell'asse, al di sopra, o nell' asse medesimo.

2°. Esaminiamo ciò che deve accadere ad un disco semplicemente poggiato su di un piano orizzontale o inclinato, e supponiamo che questo disco composto, per esempio, di piombo e di legno abbia il suo centro di gravità sulla circonferenza adb (*fig.* 47) molto lontano dal centro della figura. Segue da ciò che si è detto esser due sole le giaciture di equilibrio; l' una *stabile* allorchè il centro di gravità sia in a, *instabile* l'altro se esso sia in b. Se questo stesso disco si poggi su di un piano inclinato (*fig.* 48), vi sarà anche equilibrio allorchè il centro di gravità troverassi nel piano verticale pb menato per l'incontro p del contatto, la *stabilità* corrispondendo sempre al punto più basso a, e la *instabilità* al punto più elevato b.

In quest'ultimo caso, se il disco verrà spinto un poco innanzi, esso girerà risalendo sul piano per una lunghezza eguale all' arco pgv, e sarà nella sua posizione di *stabilità*.

Allorchè i corpi poggiano sul suolo con una base più o meno larga, è necessario per l'equilibrio che la verticale del centro di gravità cada nel perimetro di questa base; quindi apparisce che il cilindro obbliquo (*fig.* 49) sarà in equilibrio se abbia una lunghezza ab, e che cadrà se venga ad esso soprapposto un altro egual cilindro il quale trasporti il centro di gravità in un punto che sia al di fuori delle verticali del perimetro della base (2).

(1) Per esporre convenientemente la dottrina dei centri di gravità, sarebbe mestieri conoscere il calcolo sublime; per cui mi astengo di aggiungere alcuna cosa su questa materia, potendo il maestro regolarsi secondo la capacità degli allievi.

(2) Un corpo dunque collocato sulla sua base in un piano orizzontale non potrà mai rovesciarsi finchè la linea di direzione cada entro la base. Ma se questa cadrà fuori la base, il centro di gravità, non essendo in alcun modo impedito, dovrà discendere, ed il cor-

44. Le condizioni di equilibrio che generalmente vengono assegnate, e che finora abbiamo esposte, sono solo sufficienti per le speculazioni teoriche, supponendosi la materia dotata di una proprietà della quale veramente è priva; si suppone cioè che ogni corpo sia perfettamente rigido, ossia non elastico, non compressibile, e che le molecole siano immobili l'una rispetto all'altra. Supponiamo in fatti un cannello di vetro lungo e sottile poggiato con la sua parte di mezzo sopra un qualunque sostegno (*fig.* 50): il suo centro di gravità sarà sostenuto, e frattanto non si avvererà l'equilibrio, perciocchè piegherassi per cagione di sua elasticità; e tanto maggiormente si piegherà, se a'suoi estremi si sospendan de' pesi sempre maggiori: avviene lo stesso ad una trave poggiata con gli estremi su di due sostegni (*fig.*51): essa si piegherà più o meno secondo il suo peso, la sua elasticità, la sua tenacità, e la pressione che soffre. Quello che dicesi de' corpi inorganici, con più salda ragione si può de' corpi organici affermare, i quali son meno tenaci e di maggior elasticità dotati. Una pianta è sostenuta, perciocchè la verticale del suo centro di gravità cade nello spazio occupato dalle sue radici: ma ciò non impedisce che i rami si pieghino per lo proprio peso, e che anche gli steli possansi per la stessa causa piegare e rompere. Un elefante è sostenuto, dappoichè la linea di direzione del suo centro di gravità cade fra i quattro piedi che ne sostengono la massa; ma uopo è che le vertebre e le coste siano fortemente unite, per poterne reggere il peso, e che i muscoli e la pelle abbian forza da reggere alla pressione che soffrono.

S'intende del pari, che i cambiamenti di forma' che producons o dalla elasticità, o dalla compressibilità, o da' moti volontari pe' quali gli organi e le membra cangian di luogo, sono altrettante cagioni che fanno variare la posizione del centro di gravità. Allorchè un uomo alza le braccia, il centro di gravità cambia luogo; allorchè un uccello stende il collo, il cen-

po convien che si rovesci. Onde se un corpo sia inclinato, potrà rimaner fermo, purchè la linea di direzione non esca fuori la base. Quindi la torre di Garisenda di Bologna, e quella del duomo di Pisa, non cadono quantunque inclinate. Da ciò segue, la stabilità dei corpi, poste le altre cose eguali, esser maggiore se abbiano una base più ampia: d'onde le così dette mura a scarpa, i barbacanì, i puntelli, ec., mercè i quali non solo la linea di direzione si fa cadere dentro la base, ma si accresce anche il momento della resistenza, come tra poco si dirà. Segue anche da ciò, che gli uomini avendo il loro centro di gravità ordinariamente un poco sotto all' umbilico, la linea di direzione passando pel pube e cadendo fra i piedi quando sono ritti, dall'esperienza ammaestrati, si muovono in guisa da non fare uscire la linea di direzione fuori delle piante; quindi, se alcuno è seduto, per alzarsi, si piega prima un poco dalla parte davanti; se va per la salita, si curva innanzi; si piega indietro se scende: il vecchio curvo si appoggia al bastone ec. Anche gli animali fanno uso delle medesime pratiche, onde non solo l' uomo, ma anche la scimia impara a danzare sulla corda. Molti giuochi che diconsi di equilibrio dipendono dall'applicazione di questi principii.

Per rovesciare un corpo nel quale la direzione della gravità cade dentro la base, è mestieri che siavi l'azione di una potenza che ne la spinga fuori: al che opponendosi la gravità o il peso del corpo che tende a ritenerlo nella primiera giacitura, uopo è che la forza per rovesciarlo superi la resistenza nascente dal peso. Suppongo che il corpo non possa nè progredire, nè rotare orizzontalmente, essendo questi moti per lo più distrutti dall'attrito, particolarmente se si parli di fabbriche, ma solo possa rovesciarsi. Ora, siccome un corpo rovesciandosi deve rotare intorno ad un centro o ad un asse preso nel perimetro della sua base, così lo sforzo della potenza per rovesciarlo sarà il momento di essa al detto centro o asse riferito, e la resistenza che ad essa si oppone sarà il momento del peso riferito allo stesso centro o asse. Acciocchè dunque la gravità possa tener fisso un corpo nella sua situazione, è necessario che il momento del peso di questo corpo sia contrario ed eguale o maggiore del momento della potenza che tende a rovesciarlo. Se il momento del peso eguagli quello della forza, si avranno le semplici condizioni di equilibrio; ma, se l'uno superi l'altro, allora si sarà anche alla stabilità provveduto. Nelle fabbriche è assolutamente necessario di non contentarsi delle condizioni di equilibrio, ma di adempiere a quelle della stabilità; quindi non si farà un muro che possa offrire ad un terrapieno una resistenza eguale alla spinta, ma sempre maggiore: dicasi lo stesso delle volte per rispetto a' *piedi dritti* (V. *Venturoli Mec.*, *Cavalieri Arch. Stat. ed Idr.*, *Rondelet l'Art de Bâtir*). Quando poi si prende in considerazione il solo momento del peso del corpo per conoscere la forza che sarebbe necessaria per rovesciarlo, questo suolsi anche chiamare stabilità del corpo, la quale potrassi sempre conoscere, se sia data la posizione del centro di gravità, e del centro o dell' asse intorno al quale il corpo deve rotare per rovesciarsi; perciocchè moltiplicando il peso per la distanza della direzione della gravità dal centro o asse di rotazione, si ha la stabilità del corpo, e, moltiplicando la potenza che tende a rovesciarlo per la sua distanza dal medesimo centro o asse, se ne ha il momento, badando però alla direzione della potenza, la quale, supposto il corpo perpendicolare sulla sua base, non sempre opera in direzione parallela alla medesima. Se sia tale, facilissima cosa sarà il conoscerne il momento; se poi sia obbliqua, converrà ricorrere alle solite risoluzioni per valutare i suoi effetti. Ed allora si vedrà esservi de' casi nei quali la forza operando obbliquamente può produrre un aumento di resistenza o di stabilità nel corpo. Quindi rilevasi, che in un corpo l' ampiezza della base aumenta il momento della stabilità. Molte altre utili conseguenze potrebbero dedursi dalle verità esposte, ma potranno gli studiosi vederle nelle citate opere, e parecchie anche da se stessi ricavarlo.

tro di gravità è sensibilmente trasportato innanzi. Si può vedere nella *fig.* 52 le quattro giaciture del centro di gravità di un uccello corrispondenti alle quattro principali situazioni del cammino, del riposo, del moto, e del volo.

45. *Della bilancia.* La bilancia comune è composta da un' asta *ab* (*fig.* 61), sostenuta nel mezzo *m*, e le cui braccia *am* e *mb* son destinate a tener sospese le coppe *c*, *d* mobilissime ne' loro punti di sospensione. Dopo di avere equilibrate queste coppe, si pone in una di esse il corpo che si vuol pesare, e nell'altra de'pesi segnati, fino a che non si abbia l'equilibrio, cioè fino a che l'asta non si riduca in posizione perfettamente orizzontale. Allora, se la bilancia è esatta, il peso del corpo è dinotato dal numero di grammi e frazioni di grammo che sonosi dovuti mettere nella coppa: ma, se la bilancia non è esatta, se le sue braccia non sono perfettamente eguali, egli è chiaro che il peso del corpo non è indicato da'grammi posti nell'altra coppa co'quali si è equilibrato, perciocchè i pesi sono in ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva, le quali ora sono le braccia della bilancia, e però i pesi sono eguali solo quando coteste braccia sono eguali (1).

Siccome il fare una bilancia le cui braccia sieno perfettamente eguali è quasi impossibile, così sonosi inventate varie maniere di rimediare a questo inconveniente. La più facile è quella del *pesar doppio*, ovvero del *pesare per sostituzione*. Vale a dire si equilibra il corpo col piombo, con l'arena, o altre cose simiglianti, poi fatto l'equilibrio, si toglie il corpo, ed in sua vece si pongono i grammi e le frazioni di grammo, per quanto basti a ristabilire l'equilibrio. I pesi numerati prendendo il luogo del corpo che si volea pesare, la disuguaglianza delle braccia non più può avere alcuna influenza.

La bilancia comune della quale abbiam parlato, può servire allorchè vogliamo esser paghi di un' approssimazione di circa un decigrammo.

Volendo pesare con maggior precisione, conviene adoperare una bilancia più perfetta, la quale allorchè si è posto un chilogrammo per ogni coppa, preponderi facilmente quella ove si sia aggiunto un milligrammo. Ecco le principali condizioni mercè le quali puossi ciò conseguire.

1°. L'asta *f* (*fig.* 54, 59 *e* 60) è penetrata da un coltello di acciaio *a* (*fig.* 54) il cui taglio acuto ma non sottile sia poggiato su i piani *b*, d'acciaio o d'agata: in questa maniera i punti di toccamento dell' asta e dei sostegni non variano, e l'attrito scemasi grandemente.

2°. Le due coppe *c* (*fig.* 55 *e* 60) si sospendono all'asta per mezzo dell'uncinetto *d* e dell' artiglio *g* il quale si appoggia sul taglio del coltello *h*. Tutti questi punti di toccamento sono a tagli spuntati ed in acciaio, quindi avviene che il centro di gravità di ciascuna coppa e del peso che essa contiene si dispone facilmente nella verticale del taglio del coltello *h*, e che la distanza di questo taglio dal taglio di sospensione resta invariabile durante il tempo delle oscillazioni della bilancia.

3°. Il centro di gravità dell' asta può innalzarsi o abbassarsi mercè la madrevite *l* (*fig.* 53, 59 *e* 60) la quale muovesi lungo la vite *p*. Il peso di questa madrevite e la lunghezza della vite sono disposti in guisa, che dando alla madrevite successivamente le posizioni *i*, *k*, *l*, il centro di gravità dell'asta si trovi successivamente ne'tre punti *m*; *n*, *o*. Nel primo caso l' equilibrio è instabile e la bilancia è *pazza*; nel secondo caso è indifferente; nel terzo caso finalmente l'equilibrio è stabile, e l' asta esegue un certo numero di oscillazioni più o meno rapide, secondo che il centro di gravità trovasi più o meno al di sotto del taglio del coltello. Scorgesi in pari tempo che, se l' equilibrio non è perfettamente costituito, se manca, per esempio, un milligrammo in una delle coppe, l'asta penderà dalla parte del peso maggiore, e per la stessa differenza di un milligrammo penderà tanto più, quanto meno basso ritrovisi il centro di gravità rispettivamente al taglio del coltello. Mercè dunque la madrevite *l* si può a piacimento accrescere o scemare la sensibilità della bilancia. Per valutare in una maniera più precisa tanto l' inclinazione dell'asta quanto l' ampiezza delle oscillazioni, si adatta alla bilancia un lungo indice *r* (*fig.* 54 *e* 60) il quale muovesi sopra di una divisione circolare *s*, il cui centro sta sul taglio del coltello *a*.

4°. Per mantenere il pulimento del coltello di sospensione *a* e dei piani su i quali esso si appoggia, si aggiusta alla bilancia un sistema di forchette *t* (*fig.* 56 *e* 60), le quali possono afferrare l'asta dalla parte inferiore e tenerla sollevata mentre si mutano i pesi alle coppe; poscia, facendo scender le forchette lentamente, il coltello ritornerà su i piani, e l'asta potrà fare delle oscillazioni più o meno grandi secondo che le forchette sieno più o meno abbassate. La figura 56 rappresenta la maniera

(1) Si può fare alla bilancia una facilissima applicazione della dottrina de' momenti altrove esposta.

di regolare l'altezza delle forchette affinchè esse prendano e lascino l'asta nello stesso tempo. La figura 53 dinota la colonna mobile *u*, la parte superiore della quale è ornata di due braccia *v* ordinate a tener le forchette, mentre la parte inferiore termina in una piastretta poggiata sul piano inclinato *x* (*fig.*53.57 *e*58); questo piano inclinato muovesi intorno del centro *y* per mezzo del manubrio *z*: quando spingesi il manubrio dalla parte dinnanzi, il piano inclinato innalza la piastretta, la colonna *u*, le braccia *v*, le forchette *t*, ed in conseguenza l'asta *f*; al contrario, tirando indietro il manubrio, il piano inclinato lo segue, e la molla a spira che circonda la colonna *u* unisce il suo effetto a quello del pèso dell'asta per obbligare la colonna a discendere con le sue forchette e per ricondurre il coltello dell'asta sui suoi sostegni.

Le bilance così fabbricate hanno un'esattezza ed una sensibilità che non lascian cosa a desiderare.

46. *Del peso, della massa e della densità.* Il grammo, il quale è l'unità di peso adottata in Francia, è il peso d'un centimetro cubico d'acqua distillata presa al suo maggior grado di condensazione. Se la lunghezza di un centimetro si perdesse, potrebbe nuovamente esser determinata, sapendosi essere la centesima parte del metro; e se il metro stesso si perdesse, si potrebbe anche ritrovarlo, perciocchè esso è la diecimilionesima parte dell'arco meridiano di Parigi, compresa tra il polo e l'equatore, e però basterebbe ricominciare la misura della Terra. Finalmente se la stessa Terra soffrisse un cambiamento di forma o di grandezza, allora il metro sarebbe cambiato nè si potrebbe più sapere la lunghezza del medesimo; ma in questo caso sarebbe tutto cambiato per noi; i giorni e le notti non avrebbero gli stessi periodi, nè le stagioni la stessa successione e la stessa durata; l'unità di peso non sarebbe più quella, e varierebbe anche se l'acqua potesse essere alterata. Onde tutto è condizionale nei nostri più fondamentali principii, e la scienza ha fatto quanto potea quando ha fondate le sue basi su la stabilità del mondo.

Suolsi generalmente dire, la *massa* d'un corpo esser la quantità di materia della quale esso è composto; ma questa definizione sarebbe interamente illusoria se non avessimo qualche mezzo da paragonare le quantità di materia e determinarne le ragioni.

Invano si potrebbe da qualche segno esterno giudicare della quantità di materia contenuta in un dato spazio: nè mai si potrebbe ciò conseguire se non vi fosse in natura qualche particolar forza, la quale avesse le seguenti proprietà: 1° che spingesse ugualmente tutti gli atomi de'corpi, e 2° tale che se ne potesse conoscere la risultante. Ora la gravità è una forza di tal natura; essa opera egualmente su tutti i corpi, perocchè tutti nel cadere procedono con eguali velocità, e si può conoscere la risultante di questa forza sopra un dato corpo perciocchè il peso di questo l'indica. Onde dopo questa verità sperimentale puossi conchiudere, *essere la massa o la quantità di materia pròporzionale al peso.* E qui conviene osservare, esservi due maniere di valutare il peso dei corpi. Si può conoscerlo mercè la bilancia, siccome abbiamo poco fa indicato, ed allora il peso è indipendente dalla intensità della gravità. Per esempio se una bilancia a Parigi è in equilibrio, avendo una certa quantità di ferro in una delle sue coppe e nell'altra de'pesi di rame equivalenti ad un chilogrammo, essa sarebbe tuttavia in equilibrio su la cima delle Alpi con tutto che ivi la gravità fosse minore. E ciò avviene perchè il ferro, il rame ed ogni altro corpo, aumentano o perdono di peso nella ragion medesima, se la gravità si accresca o si scemi; e però la stessa bilancia, se anche venisse portata verso i confini dell'atmosfera, o alla superficie della luna, o anche su la superficie del sole, continuerebbe a stare in equilibrio. Al contrario se si volesse conoscere il peso mercè una molla graduata che si piegasse sino ad un certo segno, il volume di ferro che a Parigi era un chilogrammo farebbe piegare su la cima delle Alpi alquanto meno la molla, e la farebbe piegar 26 o 27 volte di più su la superficie del sole; il suo peso dunque estimato in tal maniera varierebbe al variare della gravità, rimanendo invariata la massa. Il peso dinotato dalla bilancia può dirsi relativo, assoluto quello indicato dalla molla: e però si può dir con verità *esser la massa di un corpo proporzionale al suo peso relativo*, ovvero al suo peso assoluto diviso per l'intensità della gravità.

Potrebbe darsi che nella natura vi fossero delle sostanze *imponderabili* sulle quali la gravità non avesse alcuna maniera d'azione: queste sostanze senza gravità sarebbero anche senza peso, ma senza massa non mai. Sarebbe per altro impossibile ogni paragone tra queste e le masse de'corpi gravi, sino a che non sarebbesi scoverta qualche forza instantanea o continua che operar potesse su le due diverse specie di sostanze. Una materia imponderabile, la quale fosse unita alla materia grave per formare un corpo, diverrebbe una causa atta a ritardare il moto dovuto alla gravità; essa opererebbe, come le masse *m* le quali si equilibrano nella

macchina di Atwood, perciocchè essa riceverebbe una porzione del moto dalla gravità impresso. Dal che non si osserva alcun ritardo di questa natura, non si può punto inferire non esservi ne' corpi sostanze imponderabili, ma, solo che nel caso che vi sieno, debbano essere di massa tenuissima per rispetto alla massa ponderabile, o che non vi sieno unite in una maniera permanente, ma che i corpi gravi le lascino quando passano da un luogo in un altro.

La densità d'un corpo è uguale alla ragione che passa tra il peso ed il volume dello stesso (*); questa ragione uopo è che si prenda in considerazione, perciocchè essa è una proprietà permanente di ogni corpo, e spesso ne diventa una proprietà caratteristica. Un centimetro cubico di acqua distillata a Parigi pesa un grammo, questa è la nostra definizione, e lo stesso volume d'acqua ha lo stesso peso in tutti i luoghi della Terra. Un centimetro cubico di ferro pesa 7g, 8, che sia ricavato dalle miniere della Svezia, della Francia o dell'America, ed in qualunque modo sia stato purificato; in simil guisa un centimetro cubico d'oro pesa 19g, 258, o che sia ricavato dalle miniere del Perù o da quelle del Giappone. Il peso dunque sotto un dato volume, ovvero la densità, è una proprietà invariabile per ciascun corpo, purchè però si prendano i volumi alla stessa temperatura, avendo veduto che il calorico dilata tutti i corpi. Impareremo più appresso a determinare le densità; per ora le supponiamo conosciute, ed impareremo solo a servircene. Dalla definizione che ne abbiamo data segue:

1°. Che ad eguali volumi le densità sono proporzionali a' pesi de' corpi;

2°. Che a pesi eguali le densità sono in ragion reciproca dei volumi;

3°. Che in generale sono come le ragioni dirette de' pesi moltiplicate per le reciproche de' volumi.

4°. Che il peso relativo in un corpo è eguale al suo volume moltiplicato per la sua densità;

5°. Che il volume d'un corpo è eguale al suo peso relativo diviso per la sua densità.

È mestieri aver bene intese queste formole, averne fatte parecchie applicazioni, per poterle tener presenti distintamente (1).

SUPPLIMENTO TERZO.

I.

Della discesa dei gravi per piani inclinati.

Nelle note all'antecedente capo si è veduto essere la gravità assoluta alla relativa come la lunghezza all'altezza del piano, o come il raggio al seno dell'angolo di elevazione. Ora dalla risoluzione che si è fatta della gravità assoluta nelle due DE, DG (*Tav. agg. fig.* 13), si vede che DE esprime la gravità relativa, e DG la pressione del corpo sul piano. E paragonando i triangoli simili ABC, DOG, si vedrà essere DO : DG = AB : BC, cioè la gravità assoluta alla pressione come la lunghezza alla base del piano inclinato, o come il raggio al coseno dell'angolo di elevazione. Apparirà anche essere OG : GD = AC : CB, cioè la gravità relativa alla pressione, come l'altezza del piano inclinato alla base del medesimo, o come il seno al coseno dell'angolo di elevazione.

Si chiami dunque g la gravità assoluta, g' la relativa, p la pressione, a l'altezza del piano, l la lunghezza, e b la base, e si avrà $g : g' = l : a$, ovvero $g' = \frac{ag}{l} = g$ sen. B. Similmente $g : p = l : b$, e $p = \frac{gb}{l} = g$ cos. B. Or le formole del moto uniformemente accelerato recate dall'Autore, e da me dimostrate nelle note, sono

$$v = gt,$$

$$s = \frac{gt^2}{2};$$

dalle quali, eliminando t, si ha anche

$$v = \sqrt{2gs}:$$

onde se in queste formole si ponga $\frac{ag}{l}$ in luogo di g, o anche g sen. B, ed l in vece di s, si avranno le formole del moto per piani inclinati; quindi si avrà $l = s = \frac{1}{2} gt^2$ sen. B, e $v = \sqrt{\frac{2agl}{l}} = \sqrt{2ag}$.

(*) La densità è detta anche *gravità specifica:* ma acciocchè questa espressione sia giusta, uopo è intendere che *gravità specifica* o *gravità sotto un dato volume* significa *peso sotto un dato volume. Nota dell' Autore.*

(1) La somma di tutte le azioni della gravità sulle molecole di una massa M, si dice *peso*, il quale se si esprima con P, e dicasi G la gravità, si avrà P = GM = GDV. La gravità specifica g di un corpo essendo la ragion del peso al volume, si potrà esprimere così; $g = \frac{P}{V} = \frac{GM}{V} = GD$. Da queste formole e dalle altre esposte nella nota al § 11, si hanno facilmente le verità enunciate dall'Autore.

Dalle verità esposte ricavasi una importante conseguenza, la quale è, che quantunque un corpo cadendo per un piano inclinato vada con velocità minore di quella con la quale sarebbe andato per la libera verticale, pure alla fine della discesa per questo piano trovasi dotato di tanta velocità, per quanta ne avrebbe avuta nel finire di scendere per la libera verticale; ed infatti chiamando V la velocità di un corpo che cadesse per la libera verticale AC, e V' quella che aquisterebbe percorrendo tutto il piano AB, sarà per le cose dette $V=\sqrt{2gs}$, e $V'=\sqrt{2ag}$; onde si avrà $V:V'=\sqrt{2gs}:\sqrt{2ag}=\sqrt{a}:\sqrt{s}$; ma nel caso nostro $a=s$; dunque sarà $V=V'$.

Quindi, se nel cerchio AEB (*Tav. agg. fig.* 14) dagli estremi A, B del diametro tirinsi ai punti E, L le corde AE, EB, ed AL, LB, e dagli angoli retti E, L si tirino al diametro le perpendicolari EO, LP, è chiaro che le velocità acquistate da un grave per EB, LB saranno eguali a quelle v, v' acquistate per OB, PB. Ora la velocità V acquistata per AB stà alla velocità v acquistata per $OB=\sqrt{AB}:\sqrt{OB}=AB$: BE (perciocchè pe' triangoli simili ABE, OBE si ha AB: EB=EB: OB, ovvero $\sqrt{AB}:\sqrt{EB}=\sqrt{EB}:\sqrt{OB}$, ed in ogni proporzione continua di tre grandezze sta la prima alla terza come il quadrato della prima a quello della seconda): così pure la velocità V sta alla velocità v' acquistata per $PB=\sqrt{AB}:\sqrt{PB}=AB$: LB. Abbiamo dunque $V:v=AB:EB$, e $V:v'=AB:LB$: ovvero permutando

$$V:AB=v:EB,\ e$$
$$V:AB=v':LB;$$

dunque sarà $v:v'=EB:LB$. Ma le velocità v, v' sono eguali a quelle che si acquistano per le corde EB, LB; dunque le velocità acquistate per le corde di un cerchio sono come le corde medesime.

Di più, la velocità V che in un dato tempo acquista un grave cadendo per un piano inclinato AB (*Tav. agg. fig.* 13) sta a quella V' che in egual tempo acquisterebbe cadendo per la verticale AC, come l'altezza alla lunghezza del piano inclinato. Infatti la forza g' con la quale il corpo scende per AB, cioè la gravità relativa, sta a quella con cui scenderebbe per AC, cioè all'assoluta g, come AC ad AB. Ma se i tempi siano eguali, si ha $g':g=V:V'$: dunque sarà $V:V'=AC:AB$.

Sarà chiaro egualmente dover stare lo spazio S descritto per lo piano inclinato allo spazio S' descritto per la libera verticale nello stesso tempo, come l'altezza del piano alla lunghezza del medesimo, poichè si ha $S:S'=g':g=AC:AB$.

Dalle cose dette segue, che se menata la tangente BD (*Tav. agg. fig.* 14) si tiri dal punto A una perpendicolare BE sul piano inclinato AD, la retta AE indicherà lo spazio percorso sul detto piano nel tempo in cui si percorre l'altezza verticale AB; imperciocchè in questo caso, pei triangoli simili ABD, ABE rettangoli in B ed in E, si ha AE: AB=AB: AD.

Quindi apparisce che un grave descrive in quel tempo il diametro verticale AB di un cerchio AEB, e le corde AE, AL; perciocchè le linee BE, BL sono perpendicolari a' piani inclinati AD, AK. E, se si tiri la retta indefinita AX perpendicolare ad AB e si prolunghi BE in S, o per lo punto S si tiri la SZ parallela e quindi eguale ad AC, e da Z si tiri la perpendicolare ZQ, sarà EB=SQ per l'eguaglianza de' triangoli QSZ, EAB, e questa dovrà esser descritta nello stesso tempo in cui è descritta SZ ovvero AB. Ora avendo AD la medesima inclinazione all'orizzonte che SQ, sarà anche essa descritta nel tempo in cui è descritto il diametro AB: e però può conchiudersi, essere generalmente vero che il tempo necessario ad un grave per descrivere il diametro verticale di un cerchio è eguale a quello che si richiede per descriverne qualunque corda, sia che queste corde partano dall'una o dall'altra estremità del diametro. Da questa verità ne segue immediatamente un'altra, ed è che se il cerchio A*dkb* che ha per diametro A*b* tocchi in A il cerchio ACB, sarà descritta la porzione *b*B del diametro verticale nello stesso tempo in cui sarebbero descritte le porzioni *d*E, *k*L delle corde AE, AL.

Il tempo poi della caduta per lo piano inclinato al tempo della caduta verticale, è come la lunghezza all'altezza del piano. E per fermo si dican T, t i tempi della discesa obbliqua e della verticale, e si avrà $T:t=\sqrt{S}:\sqrt{s}=\sqrt{AD}:\sqrt{AE}$; ma $\sqrt{AD}:\sqrt{AE}=\sqrt{AD^2}:\sqrt{AB^2}$, essendo AD: AB=AB: AE; dunque sarà $T:t=AD:AB$.

II.

Del moto per le curve. Supponiamo che un mobile percorra la serie de' piani inclinati contigui AB, BC, CD (*Tav. agg. fig.* 15); se gli angoli B, C sian molto sensibili, il mobile giunto in D non avrà la velocità che avrebbe acquistata percorrendo la verticale AE eguale alla somma delle altezze de' piani; perocchè nel passar da piano a piano dovrà distruggersi una porzione della velocità da esso acquistata.

Ed in fatti sia XB la velocità acquistata dal mobile nel percorrere il piano AB. Tirata XZ perpendicolare al piano CB prodotto in Q, s'intenda questa velocità risoluta nelle due XZ, XB. La XZ essendo perpendicolare al piano BC, si distruggerà per l'urto nel passaggio dal piano AB al piano BC, e resterà la sola ZB. Siccome poi XZ è eguale a sen. XBZ, ed XBZ+XBC=180°, così 1° dato l'angolo fatto da' piani si ha la misura della velocità perduta; 2° questa perdita di velocità dee scemarsi a proporzione che l'angolo ottuso si avvicina a 180°; in guisa che quando giugne a questo punto, o ne differisce per un infinitesimo, non v'ha perdita alcuna, o, se ve n'ha, è anche infinitesima; onde il corpo acquista per piani inclinati contigui una velocità quasi eguale a quella che acquisterebbe cadendo per la verticale che misura l'altezza di tutti i piani, quando questi facciano angoli molto vicini a' due retti.

Allorchè il corpo scende per una curva, si può senza molto errore considerare come se scendesse per una serie di piani picciolissimi inclinati fra loro ad angoli poco minori di 180°, e perciò la velocità acquistata alla fine della discesa può dirsi con molta approssimazione eguale a quella che il grave acquisterebbe cadendo per la libera verticale dall'altezza medesima. Onde, se il corpo cade per la curva BEC (*Tav. agg. fig.* 16), o per la verticale BD=AC, o per l'obbliqua BC, avrà alla fine della discesa la stessa velocità. Ma il moto in questi diversi casi è sempre uniformemente accelerato? Per le rette AE e BC non vi cade dubbio alcuno; ma non può dirsi lo stesso per una serie di piani inclinati, nè per la curva BEC, perciocchè in ogni angolo ne' piani, in ogni punto sulla curva, la gravità relativa o la forza acceleratrice varia. Ma, se l'arco non oltrepassi un certo limite, sicchè non s'induca un notabil cambiamento nella forza acceleratrice, il moto si potrà come uniformemente accelerato considerare. Onde, se un corpo percorra archi simili e similmente posti, di curve anche simili, i tempi t, t' impiegati a descriverne le porzioni simili s, s' saranno come le radici quadrate di esse, e nel caso di archi circolari, come le radici de' raggi r, r'.

È chiaro finalmente, che un grave per la velocità acquistata per moto uniformemente accelerato potrebbe con moto uniformemente ritardato nello stesso tempo risalire ad una eguale altezza; e però se dopo di avere scorso l'arco BEC incontri in C il concavo della stessa curva o di altra simile, s'innalzerà per essa in egual tempo fino al punto G, cioè ad un'altezza pari a quella dalla quale è disceso.

CAPO IV.

DEL PENDOLO.

47. Il *Pendolo* comunemente è composto di una pallina sospesa all'estremo di un filo flessibile (*fig.* 62). Le sue principali proprietà sono: 1.° d'indicare la direzione verticale, o quella della gravità; 2.° di fare delle oscillazioni in un piano medesimo, allorchè vien rimosso dalla verticale e poi lasciato senza dargli alcuna spinta. Ed invero, se si ponga il pendolo in una giacitura qualunque, e si lasci cadere liberamente, esso discenderà fino ad l, oltrepasserà questo punto risalendo fino a b, descrivendo un arco lb uguale ad la, quindi ricadrà in l, risalirà in a, e continuerà così per lunga pezza il suo moto. Si vedrà col porvi mente, che il pendolo nel discendere aumenta di velocità fino in l, e che al contrario va scemandone nel salire da l fino al punto ove comincia a discendere.

L'angolo afl dicesi *angolo di deviamento*, o semplicemente *deviamento*.

Il moto di a in b, o di b in a, è ciò che dicesi un'*oscillazione*; di a in l una *semi-oscillazione discendente*; e di l in b *una semi-oscillazione ascendente* (1).

L'*ampiezza* dell'oscillazione è l'arco ab misurato per gradi, minuti primi e secondi.

La *durata* di una oscillazione è il tempo durante il quale il pendolo percorre quest'arco.

Da siffatte osservazioni discende come per prima conseguenza, che il moto del pendolo è il moto perpetuo; perciocchè, se discendendo da a esso sale ad un eguale altezza b, è mestieri ugualmente che scendendo da b risalga precisamente in a; e quel che per la prima volta ha fatto dovrà farlo per la seconda, per la terza, e così per sempre.

Questa conseguenza sarebbe rigorosa, se in effetti l'altezza del punto b ove giunge il pendolo fosse perfettamente eguale all'altezza del punto a d'onde è disceso; ma l'attrito del punto di sospensione f, e la resistenza dell'aria che la pallina deve urtare, impediscono questa perfetta uguaglianza. La differenza apparisce meglio dopo un certo numero di oscillazioni, e lungi dal maravigliarci che il moto non sia perpetuo, ci maravigliam piuttosto ch'esso duri per un tempo sì lungo; perciocchè un pendolo può,

(1) Il Galilei, che fu lo scopritore delle leggi del pendolo, chiamò vibrazioni quelle che molti con l'Autore dicono oscillazioni.

senza fermarsi, oscillare per ore intere.

Il pendolo è uno dei più semplici istrumenti della Fisica, e frattanto uno di quelli che più importa di conoscere: perciocchè esso serve a misurare esattamente il tempo, a determinare la figura della Terra, e a dar lume sopra una delle più importanti quistioni che riguardano la gravitazione universale.

48. *Leggi delle oscillazioni de' pendoli.* 1. La durata delle oscillazioni fatte per archi picciolissimi non dipende dalle ampiezze delle medesime, queste si dicono *isocrone* per dinotare che tutte hanno eguale durata. Le oscillazioni che si eseguono per archi di 4 o 5 gradi non sono più da considerare come fatte per archi infinitesimi, e cominciano già ad avere una maggior durata.

2. La durata delle oscillazioni per nulla dipende dal peso della palla o dalla natura della medesima.

3. Le durate delle oscillazioni sono come le radici delle lunghezze de' pendoli.

Queste leggi si dimostrano rigorosamente mercè i principii della Meccanica, ma in Fisica sogliónsi approssimativamente dimostrare con l'esperienza.

Sarebbe impossibile il dimostrare la prima legge in una di quelle esperienze che sogliónsi accompagnare con le lezioni, perciocchè sarebbe mestieri di numerare molte centinaia di oscillazioni; alcune da principio, quando si hanno per un arco di 4 o 5 gradi; alcune altre un poco dopo, allorchè son ridotte in un arco di due o tre gradi; e le ultime in sul cessar del moto, quando per vederle uopo è armarsi di lente. Reca a prima vista grande meraviglia il veder che il pendolo impiega lo stesso tempo a percorrere un arco di $\frac{1}{10}$ di grado ed uno di 10°, vale a dire cento volte maggiore; ma intenderassi di questo fatto la ragione, col por mente alla gravità, la quale in quest' ultimo caso ingenera maggiore velocità, perciocchè opera di una maniera più efficace, operando con obbliquità maggiore. Cotesta legge dell'*isocronismo* fu una delle prime scoperte del Galilei: dicesi che essendo egli ancor molto giovane, osservasse per caso nella cattedrale di Pisa il ciondolar di una lampada sospesa alla volta, e che forte si maravigliasse nel veder periodicamente e con eguali intervalli di tempo que' moti succedersi. Questo bastò a destare il suo ingegno, e questa osservazione di un giovanetto divenne la sorgente delle maggiori scoperte.

La seconda legge facilmente dimostrasi.

Si prendono diverse sfere di metallo, d'avorio, o di altre sostanze, e se ne fanno pendoli di pari lunghezza; facendoli oscillare contemporaneamente, vedrassi questi pendoli andar d'accordo per lunghissimo tempo.

Allorchè la gravità opera per fare oscillare un pendolo, essa opera egualmente su ciascun atomo della materia onde è composta la sfera; e però un sol atomo di ferro, per esempio, sospeso all'estremità d'un filo, dovrà oscillare con quella stessa velocità con la quale oscillerebbe se vi fossero due atomi riuniti, imperocchè essi hanno forze separate e di eguale intensità; nè diversamente andrebbe la cosa se vi fosse un numero qualunque di atomi; ed in vero, senza le resistenze e l'attrito, un atomo oscillerebbe come una grande sfera di ferro.

In oltre, la gravità operando nella stessa guisa su tutte le sostanze, un atomo di ferro dovrà oscillare come uno di avorio, d'oro o di platino; ed in conseguenza tutte le masse, sia qual si voglia la natura di esse, dovranno con la stessa velocità oscillare.

Questa esperienza è importante, perciocchè ci dà un'altra pruova dell'uniforme maniera di operare della gravità su tutti i corpi.

L'esperienza che ne abbiamo fatta in un tubo vuoto d'aria è molto grossolana, dappoichè la gravità opera appena durante qualche frazione di minuto secondo, mentre col pendolo possiamo osservarne gli effetti per ore intere su i differenti corpi. Vero è che essi cadono solo nell'arco di oscillazione, il quale in se stesso assai volte ripiegasi; ma è chiaro per la conseguenza che vogliam ricavarne, poter noi considerare come se i corpi cadessero con moto rettilineo e uniforme. Mercè di osservazioni di questa natura, per le quali sarebbe mestieri di somma precisione, si potrebbe veramente conoscere se vi sien sostanze imponderabili unite alla materia ponderabile in un modo permanente, ed aventi per rispetto a questa una massa sensibile sotto di egual volume. Dalle osservazioni di Mairan sul proposito non si può alcuna cosa dedurre; perciocchè esse non sono state fatte a tale oggetto, ed appartengono ad un'epoca nella quale invano sarebbesi cercata quella esattezza che al presente si può conseguire.

La terza legge poi rendesi aperta usando pendoli di diversa lunghezza: se, per esempio, si prendan tre pendoli, le lunghezze dei quali siano tra loro come i numeri 1, 4, 9, allora le durate delle oscillazioni debbono essere come i numeri 1, 2, 3; e per fermo, se tali pendoli si facciano oscillare, o col sospenderli l'uno innanzi l'altro, o col legarli con un doppio filo (*fig.* 63), numerando le oscillazioni, si vedrà che il pendolo la cui lunghezza è 1 fa due oscillazioni per ognuna del pendolo lungo 4, e tre

per ognuna di quello lungo 9. Spetta alla Meccanica di render ragione di questo fatto importante (1).

49. *Della intensione della gravità, del pendolo semplice, del pendolo composto.* Le leggi delle quali abbiam parlato non dipendono punto dalla intensità della gravità. Supponete infatti che cotesta forza diventi 100 volte più intensa, o 100 volte più debole, le piccole oscillazioni sarebber tuttavia isocrone tra loro, e la durata di esse avrebbe ancora la stessa ragione ai pesi de' pendoli ed alle lunghezze de' medesimi. Ma con tutto che queste leggi non varino al variar della forza, pure avvi qualche cosa che si muta, ed è la durata assoluta di ogni oscillazione. Se la gravità cessasse di operare in un dato istante, i corpi cesserebbero di cadere ed i pendoli di oscillare, o almeno i corpi cadrebber solo mercè la velocità acquistata, ed i pendoli che troverebbonsi in moto descriverebbero cerchi interi, senza essere tratti sulla verticale e senza esser fermati da altra causa fuorchè dall'attrito. Al contrario, se la gravità crescesse del doppio, i corpi cadrebbero più veloci ed i pendoli sarebbero più presti a ripeter le loro oscillazioni.

Ma la vera ragione che si ha tra la durata delle oscillazioni, la lunghezza del pendolo, e l'intensità della gravità, non può essere dimostrata se non mercè le leggi della Meccanica, e noi dobbiam restringerci a riferir solo la formola che serve ad esprimerla.

Sia l la lunghezza del pendolo qualunque espressa in metri;

Sia t la durata di un'oscillazione di questo pendolo espressa in secondi sessagesimali;

Sia π la ragione approssimativa della circonferenza al diametro, il cui valore, come è noto, è $\pi = 3,1415926$;

Da ultimo, sia g l'intensità della gravità, vale a dire il numero de' metri che esprime la velocità di un corpo dopo un minuto secondo di libera caduta.

Si avrà per la formola del pendolo $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$;

d'onde si ha $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$ (2); vale a dire che

l'intensità assoluta della gravità è uguale al quadrato della ragione approssimativa della circonferenza al diametro moltiplicata per la lunghezza del pendolo sul quale si osserva, e divisa per lo quadrato del tempo di un oscillazione,

Per avere dunque l'intensità della gravità, basterà il fare oscillare un pendolo, misurarne la lunghezza per avere l, osservare la durata di un' oscillazione per avere t, e dopo fare il calcolo indicato.

(1) Da quanto si disse nel suppl. 3° si può di leggieri comprendere, il moto del pendolo in una semioscillazione discendente non essere a rigore uniformemente accelerato, nè, per conseguenza, uniformemente ritardato quello di una semioscillazione ascendente; e quindi volendo fissare i principii fondamentali della dottrina dei pendoli, converrebbe entrare nelle teoriche del calcolo sublime, delle quali mi son proposto di non fare uso, affin di non arrecare intoppo ai giovani i quali riduconsi a studiare la Fisica avendo sólo apparata la parte elementare delle matematiche. Dirò intanto alcune cose che potranno in qualche maniera rischiarare le tre leggi enunciate dall' Autore. È da sapere, che se un pendolo semplice si faccia oscillare per archi cicloidali ancorchè diversi, farà sempre oscillazioni di egual durata, e ciò per una singolar proprietà della cicloide detta anche curva *brachistocrona*. Questa curva può considerarsi come generata da un punto preso sulla circonferenza di un cerchio che si muove sopra di una retta girando intorno al suo centro. Per ottenere poi le oscillazioni per archi cicloidali, uopo è fare il pendolo con un filo flessibile e proccurar che esso oscillí fra due semicicloidi (*Tav. agg. fig.* 17) AF, FD, giacchè il pendolo allora dovrà descrivere una curva che dai matematici direbbesi *evoluta* delle semicicloidi anddette le quali ne sarebbero l'evolventi, ed in matematica è dimostrato che l'evoluta della cicloide è cicloide anch'essa. La lunghezza del pendolo da un punto della evolvente fino all' evoluta si direbbe raggio osculatore, ed un cerchio descritto con esso sarebbe un cerchio osculatore della cicloide evoluta, il quale per un arco picciolissimo si confonderebbe con l' arco cicloidale. Onde se per archi cicloidali le oscillazioni sono isocrone ancorchè disuguali, potendosi gli archi di cerchio picciolissimi come cicloidali considerare, segue che le oscillazioni che si eseguono per questi archi anche disuguali debbano sensibilmente isocrone riuscire.

La ragione della seconda legge è nella natura della gravità.

Allorchè le oscillazioni si eseguono per archi simili e non molto grandi, i tempi delle semioscillazioni potranno esprimersi con le radici degli archi; ma gli archi simili sono come i raggi, che nel caso presente sono le lunghezze de' pendoli; dunque i tempi delle oscillazioni sono come le radici delle lunghezze dei pendoli. La cicloide della quale si è fatta menzione è anche dotata di un'altra singolarissima proprietà, di essere, cioè, la curva di più celere discesa, vale a dire che, se da un'altezza data si faccia discendere un corpo per un arco circolare e per un arco cicloidale, il corpo impiegherà il minimo tempo a discendere per quest'ultimo, proprietà che il Galilei credette appartenere al cerchio, avendo fatta l'esperienza col piano inclinato e con l' arco circolare. E ciò basti per ora: ma coloro che bramassero alcuni particolari intorno alla cicloide, li troveranno nel supplimento 4. delle antecedenti edizioni, giacchè in questa ho dovuto toglierlo per dar luogo ad altre materie.

(1) V. il supplimento 4.

Questa formola compete al pendolo *semplice*: così vien chiamato un pendolo ideale, il quale ad immaginare è facile, ad eseguire impossibile. Esso dovrebbe esser composto di un filo d' invariabile lunghezza e senza gravità, all'estremo del quale dovrebbe esser posta una sola molecola di materia grave.

50. Ogni pendolo, che non è semplice come il precedente, dicesi pendolo composto: così un filo inflessibile e senza gravità, cui fossero unite solo le due molecole gravi *m* ed *n* (*fig.* 64), sarebbe un pendolo composto. In questo, la velocità di oscillazione si *compone* dalle velocità di oscillazione che competerebbero separatamente a ciascuna delle piccole masse, liberamente oscillando. La molecola *m*, la quale sta alla distanza *fm* dal punto di sospensione, tende ad oscillare più velocemente della molecola *n*, la quale è distante dal punto medesimo per *fn*; ma, poichè esse sono unite l'una all'altra, costrette a procedere insieme ed a fare le oscillazioni nello stesso tempo, la prima riceverà un ritardo dalla seconda e la seconda un acceleramento dalla prima: d' onde segue una velocità intermedia la quale è la velocità del pendolo composto. In ogni corpo che oscilla fassi una simile compensazione tra tutte le differenti velocità che prenderebbero le diverse molecole se ciascuna liberamente oscillasse. Per far meglio intendere questa fondamentale verità, noi prenderemo anche un altro esempio: *fp* (*fig.* 65) rappresenti un pendolo ordinario simile presso a poco a quelli che servon di regolatori agli orologi, *f* sia il punto fisso, *ft* sia ciò che dicesi l'asta, ed *l* la lente. Il punto *m* e quelli che son con esso vicini all'asse di sospensione, andrebbero velocissimi, se fossero soli. Al contrario il punto estremo *n* e quelli che son con esso più bassi, dovrebbero andare con molta lentezza. I primi dunque son ritardati per lo sforzo che fanno per trarre gli ultimi, e questi ricevono acceleramento dall' azione di quelli. Dunque tra il punto *m* ed il punto *n* avvi un certo punto *c*, il quale non è nè accelerato, nè ritardato, e che fa le sue oscillazioni precisamente come se fosse solo e liberamente sospeso all'estremo del filo *fc*: questo punto degno di esser notato è detto *centro di oscillazione*. In ogni pendolo composto si trova necessariamente uno o più centri di oscillazione; e la loro *comune* distanza dal punto di sospensione è ciò che dicesi *lunghezza del pendolo*. Questa lunghezza è effettivamente eguale a quella del pendolo semplice che oscillerebbe colla stessa velocità del pendolo composto. Il centro di oscillazione dipende dalla forma del corpo che oscilla, quando questo è omogeneo, e dipende dalla forma e dalla densità delle sue parti, quando è eterogeneo. Un pendolo tutto di rame avrebbe, per esempio, il suo centro di oscillazione in *c* (*fig.* 65) quando la sua asta fosse molto densa, ed in *d* se si riducesse ad un filo. Un piccol peso che si aggiungesse verso l'estremità inferiore *n* farebbe discendere anche il centro di oscillazione, e lo farebbe inalzare se venisse aggiunto verso la parte superiore. E però in alcuni orologi osservasi un *corsojo* pesante, il quale può scorrere lungo l' asta del pendolo, e si fa discendere o ascendere, per far ritardare o avanzare l'orologio; ma più comunemente questo effetto producesi mercè la stessa lente, la quale puossi inalzare o abbassare con piccol moto prodotto dal volger di una vite.

Le oscillazioni di un peso che sospendesi ad un filo verticale, e le oscillazioni di un *bilanciere* il quale regola il moto di un oriuolo da tasca (*fig.* 66), si eseguono egualmente secondo le leggi del pendolo composto; ma la forza operante nel primo caso è l'elasticità di torsione del filo, e nel secondo caso l' elasticità della molla spirale messa in azione dall'impulso della *ruota d' incontro*.

Dovendo necessariamente fare uso di pendoli composti, chiaro si scorge da quel che finora abbiam detto, che, per conoscere la intensità della gravità per mezzo delle osservazioni del pendolo, due grandi difficoltà ci si presentano: primieramente quella di osservare con esattezza la durata di un'oscillazione; secondo quella di precisar la lunghezza del pendolo che si fa oscillare: perciocchè solo dopo aver rinvenuti questi due essenziali elementi, il pendolo composto può esser trattato come il pendolo semplice, e si può allora adoperare la formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, per ricavarne il valore di g, che è l'intensità della gravità.

Borda fu il primo fisico che ci fe' dono di un metodo esatto di misurare i pendoli: egli era fatto per le ricerche di questa natura, perciocchè avea il dono della precisione. Le sue sperienze furon fatte nel 1790 all'osservatorio di Parigi, e si può ben dire che prima di questo tempo non eravi luogo della Terra ove la forza di gravità fosse conosciuta. I signori Biot, Bouvard e Mathieu ripeterono le stesse esperienze nel 1808, seguendo le orme di Borda, e con istrumenti analoghi. Nel 1818 il signor Arago ed il signor Humboldt verificarono queste esperienze per altre vie. E tutte queste esperienze confermarono l' esattezza di quelle di Borda, e perciò segue che l' intensità della gravità a Parigi sia quella trovata da costui.

cioè di 9^m, 8088: vale a dire che un corpo il quale cada nel vòto durante un minuto secondo, acquista una velocità, per la quale se la gravità più non operasse su di esso, percorrerebbe 9^m, 8088 in ogni minuto secondo: il che può esprimersi anche col dire, che un corpo il quale cadesse nel vòto, essendo prima in quiete, percorrerebbe in un minuto secondo uno spazio di 4^m, 9044; perciocchè noi abbiamo veduto che la velocità che il corpo acquista dopo l'unità di tempo è doppia dello spazio percorso durante la medesima. Si potrà vedere nel quadro posto alla fine di questo capo, l'unione delle osservazioni del pendolo fatte nei diversi luoghi della Terra, e sarà facile il dedurne l'intensità della gravità in ogni stazione per mezzo della formola.

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$$

Ed invero conoscendo la lunghezza l del pendolo che fa un' oscillazione in 1" sessagesimale, basterà di supporre $t = 1$, di mettere per l il suo valore ridotto in metri, e per π il suo valore 3, 1415926.

51. *Della figura della Terra.* Si sa le più alte montagne non esser che piccole prominenze per rispetto al globo terrestre, come presso a poco sarebbero dei granelli di arena sparsi sopra un globo che avesse un metro di raggio; e quindi le più grandi profondità dei mari non sono che piccole cavità analoghe alle prominenze de'monti. Onde la superficie della Terra, presa nella sua totalità, è sensibilmente regolare, e può come tale nel calcolo esser considerata. I più antichi astronomi conobbero la curvatura della superficie terrestre, e siccome essi pensavano la sfera esser la figura più perfetta, così non dubitaron punto che la Terra non avesse cotesta figura; puossi anche da alcuni documenti storici presumere che essi abbian fatto qualche tentativo per misurarne le dimensioni, e che finalmente vi siau pervenuti con sufficiente approssimazione. Ma la Terra non è una sfera: essa è elevata verso l'equatore, depressa verso i poli, e noi ci adopereremo d' indicare in una maniera generale la causa di questa depressione e il mezzo col quale si è potuto averne la misura.

Se la Terra fosse solida in tutta la sua massa, o solo nella crosta esterna, che le interne parti racchiude, potrebbe avere una qualunque figura, nè la sferica o la sferoidale di necessità le converrebbe: vi sarebbe solo una certa relazione tra la sua figura ed i periodi de'suoi moti. Se al contrario la Terra fosse interamente fluida, essa dovrebbe necessariamente avere la figura di sferoide o di sfera depressa verso i poli, perciocchè la forza centrifuga nascente dal moto di rotazione che la Terra esegue intorno del proprio asse, spingendo sempre più il fluido, lo accumulerebbe verso le regioni dell'equatore, ove lo manterrebbe a più alto livello. Ma, tutto intero il globo terrestre, essendo nel tempo stesso composto di sostanze solide che formano la Terra ferma e le montagne, e di masse liquide che empiono le profondità dei mari, chiaro si scorge esservi due questioni a proporre intorno alla figura della Terra, cioè: quale è la forma generale della superficie solida della Terra ferma, e quale quella della superficie delle Acque. Per quest' ultima non è punto da porre in dubbio che non sia elevata verso l' equatore; perciocchè non avvi alcuna cosa che possa impedire della forza centrifuga l'effetto, ad essa ubbidendo le acque dell'oceano, non ostante le isole e la tortuosità delle grandi rive, pressochè in quella guisa stessa che farebbero se fossero di molte migliaia di metri al di sopra delle montagne sollevate.

Per ciò che appartiene alla superficie della Terra ferma, risulta da osservazioni che sonosi fatte essere anch' essa depressa quasi come la superficie delle Acque, vale a dire che essa presenta quella curvatura che avrebbe presa tutta la Terra se fosse stata un tempo tutta liquida, e si fosse consolidata solo dopo di avere girato intorno a se stessa, come al presente gira, e dopo aver presa la figura che necessariamente nascer deve da questo moto di rotazione. Una forte ragione per dimostrare che anche la superficie della Terra ferma è depressa, è che le montagne che son verso i poli non sono molto elevate al di sopra del livello del mare: e pure, se la superficie della Terra fosse sferica, e quella delle Acque depressa, è chiaro dover essere le montagne all' equatore più basse che al polo proporzionatamente a questa depressione, vale a dire di 4 a 5 leghe, mentre pare al contrario esser le montagne all' equatore più alte di quelle che sono verso il polo.

Per formarsi un' idea de'principii su i quali poggiasi la diretta e *geodetica* misura della Terra, basta il considerar due punti lontani fra loro ed uniti per mezzo di una catena di triangoli, per mezzo de'quali si possa conoscere la distanza che passa tra questi punti. Prendiamo per esempio Dunkerque e Formentera, che stanno nel meridiano di Parigi; le verticali di questi due punti sono inclinate fra loro per un angolo di 12° 22' 14". Queste due linee convengono verso il centro della Terra o lì presso. Se prendendo per centro il punto ove esse incontransi si descrivesse un cerchio che passas-

se per Dunkerque e per Formentera, quest'arco appunto sarebbe di 12° 22' 14". Or dalla catena de'triangoli si deduce esser la distanza tra questi due punti, misurati su quest'arco o approssimativamente su di esso, di metri 1374438,72. Dunque se 12° 22' 14" formano questa distanza, facile riescirà di trovare la lunghezza di un sol grado, cioè la lunghezza che dicesi grado del meridiano. Se la Terra fosse sferica, tutt' i gradi sarebbero eguali, sarebbero cioè dello stesso numero di metri, e reciprocamente.

Ma se all' opposto i gradi si trovano disuguali, si dovrà conchiudere che la Terra non sia sferica. Si vede perciò che (*fig.* 69) se è ellittica o depressa verso i poli, le verticali dell'equatore distanti per 1° debbono convergere più di quelle de'poli distanti fra loro anche di 1° : onde l' arco di 1° compreso fra le prime verticali dovrà avere minor lunghezza di quello compreso tra le seconde, come quello che appartiene ad un cerchio di raggio più corto ; donde segue che se i gradi dell' equatore troverannosi più corti di quelli dei poli, si potrà conchiudere con la maggior certezza essere la Terra depressa verso i poli.

Ora alcuni archi, ciascuno di parecchi gradi, sono stati misurati su diversi meridiani ed a varie latitudini: Da Bouguer e la Condamine al Perù ; da Lambton nelle Indie ; al Capo di Buonasperanza da Lacaille; da Mason e Dixon nella Pensilvania; da Lemaire e Boscowich in Italia ; in Francia da Delambre e Mechain ; nella Spagna e sulle coste del Mediterraneo da Arago e Biot ; in Inghilterra nelle vicinanze di Greenwich da Roy , Delambre e Mechain ; nella Svezia da Melanderhielm.

Da tutte queste misure due conseguenze si ricavano: primieramente la Terra non essere sferica, perciocchè i gradi presi a diverse latitudini sono disuguali: ed in secondo luogo essere la Terra depressa verso i poli, imperciocchè la lunghezza de' gradi cresce procedendo dall' equatore verso i poli. Dal paragone di queste misure e da alcune geometriche considerazioni si è potuto conoscere la lunghezza del raggio terrestre per diverse latitudini. Sonosi perciò avuti i risultamenti che seguono :

	metri		leghe
Raggio dell' equatore .	6371984	ossia	1434,8
Raggio del polo. . . .	6356324	ossia	1430,1
Differenza	2660	ossia	4,7

La *depressione* è la differenza tra il raggio equatoriale ed il raggio polare divisa per lo raggio equatoriale, e però dalle suindicate misure risulta di $\frac{1}{308,65}$. Il raggio medio della Terra è quello che corrisponde alla latitudine di 45°, ed è di 6336745ᵐ = 1432,4 leghe. Dal paragone di alcune altre misure , trovasi un altro raggio poco differente da questo, cioè di 6366194. La differenza è trascurabile nella maggior parte delle applicazioni , perciocchè 500 metri sono appena la decima parte dell' altezza del Monte Bianco.

52. Le osservazioni del pendolo possono anche servire a far conoscere la depressione della Terra; ma per ottenere ciò è mestieri ricorrere ad una formola di Meccanica esprimente la ragione che passa tra le intensità della gravità per due punti della superficie del globo , e le distanze di questi punti per rispetto al centro della Terra. Per mezzo di questa formola abbiamo potuto discutere tutte le osservazioni riportate nel quadro posto in fine di questo capo; ma senza entrare qui nei particolari di questa discussione , ci limiteremo ad indicare le principali conseguenze che ne risultano , cioè: 1°, che la natura del suolo sul quale si fanno le osservazioni ha una sensibile influenza sulle oscillazioni del pendolo; 2°, che essa per conseguenza influisce più o meno sull' equilibrio e sul livello delle acque ; 3°, finalmente, che per queste cagioni la superficie del mare ha probabilissimamente delle ineguaglianze più o men grandi, cioè delle eminenze e degli abbassamenti i quali, sebbene non tolgano in generale la depressione di essa indicata dalla teoria , pure fanno sì che non sia una superficie geometrica e perfettamente simile a quella di un'ellittoide di rivoluzione. Laonde sieno qualsivogliano le cagioni che abbian potuto operare nella origine del mondo, e quelle che siansi di poi manifestate nelle catastrofi avvenute, sarà sempre vero, siccome ciascuno di leggieri comprende , che tutte le materie sieno state confuse , e che le più leggiere sien quasi uniformemente ripartite in tutta l'estensione di ciascuno strato. Facea mestieri che così avvenisse per la regolarità de' moti e per l'ordine delle stagioni , perciocchè i fenomeni in altra guisa accaderebbero se , per esempio, uno degli emisferi fosse leggiero come il sughero e l'altro pesante come il piombo. Ma ad onta di questa omogeneità generale, non è difficile che nel globo vi sia qualche eterogeneità locale che abbia potuto alterarne la superficie, ed in diverse distanze produrre depressioni o elevazioni.

53. *Deviazione del filo a piombo per l'attrazione delle montagne.* Tutte le parti della materia attraendosi a vicenda a prima vista

non si comprende perchè le grandi masse quali sarebbero i monti non manifestino sensibile azione su i corpi che li circondano; perchè, per esempio, allorchè si fa cadere una pietra dalla cima di un monte questa cadendo non si diriga verso il centro di questo che è vicinissimo, ma in vece si dirige verso il centro della Terra che è ad una distanza grandissima. Potrebbe anche taluno maravigliarsi nel vedere che le mura di un edifizio non producono alcuno effetto, e che, in un appartamento, un corpo non cada verso il cielo delle camere anzi che sul pavimento, presso a poco in quella guisa che presso gli antipodi i corpi cadono salendo verso noi. Ma se si vorrà por mente, che un monte grandissimo non è che un granello di arena in paragone della Terra, più non si resterà da maraviglia compreso nel vedere che le montagne ordinarie non possono attrarre verso loro i corpi che la Terra trae verso di se. L'effetto che queste produr potrebbero sarebbe quello di far deviare un poco i gravi cadenti dalla verticale. E però, se queste qualche deviamento produrranno, si potrà esser certo che la gravità, siccome abbiam detto, sia una forza universale che opera sulla materia, e che non siavi un vortice intorno alla Terra, nè una particolar virtù verso il suo centro per la quale i corpi sieno spinti o simpaticamente precipitati.

Bouguer fu il primo cui venne in pensiero di cercare nell'attrazione delle montagne una pruova dell'attrazione universale della materia; perciocchè se queste han potere di attrarre, debbon deviare il filo a piombo (1). Ma come conoscere se il filo a piombo abbia deviato? La stessa causa che cambierebbe la sua direzione cambierebbe anche quella della superficie delle acque stagnanti cui vien riferita, laonde non si potrebbe conoscere nè l'uno nè l'altro di cotali cambiamenti. E però è mestieri ricorrere alle stelle; ed anche in questa congiuntura uopo è cercare nel cielo una direzione fissa per l'esperienze di questo genere. Sul dorso del Kimborako, una delle più alte montagne della Terra, Bouguer fece le sue esperienze. Incontrò mille ostacoli per l'asprezza de'luoghi, e per le terribili tempeste che ebbe a sopportare in quelle alte regioni. A fronte di tanti pericoli, pure venne a capo del suo disegno, e trovò nel filo a piombo una deviazione di 7" o 8". Questi monti vulcani ci hanno sicuramente delle immense cavità, senza le quali la forza in esame sarebbe maggiore.

Dopo Bouguer sonosi ripetute l'esperienze in diversi luoghi: Maskeline nel 1772 le ha principalmente ripetute con precauzioni grandissime alle falde del monte Shehalliens in Iscozia, ove ha trovato una deviazione di 54". Donde si può inferire che le montagne hanno influenza sul filo a piombo; e che lo fan deviare dalla verticale per un angolo sensibile, dipendente dal volume e dalla natura delle sostanze che le compongono. Maskeline fece le sue sperienze per dedurne la ragione tra la massa della Terra e quella del monte, e per conseguenza anche la densità della Terra: ed in questo modo trovò la densità media della Terra essere 4,56, ovvero approssimativamente quattro volte e mezzo maggiore di quella dell'acqua. Io mi penso essere stata questa la prima notizia che siasi avuta intorno alla natura delle sostanze che formano gli strati più interni del globo.

Nel 1824 il signor Carlini fece sul monte Cenisio osservazioni di altra natura, dalle quali fu guidato allo stesso risultamento.

54. Finalmente andiam debitori a Cavendish di un'altra determinazione della densità media della Terra. Il suo istrumento sembra essere il più perfetto che usar si possa per siffatte ricerche. La prima idea di esso si deve a Michell, della Società reale di Londra: costui non avendo avuto il tempo di recare a compimento le sue esperienze, e vedendosi vicino a morire, lasciò l'istrumento al signor ***Francis-John-Hude Wollaston*** professore a Cambridge, e questi ne fe' dono a Cavendish che avea fama di uno dei più solenni fisici dell'Inghilterra. Ecco le principali idee sulle quali fondasi lo strumento: se si abbia una grande sfera di metallo di 10 piedi di raggio, è chiaro non poter questa far deviare il filo a piombo, facendolo appena le montagne di pochi secondi deviare: ma se, invece di un filo verticale sul quale opera la gravità, si presentasse a questa sfera nel piano del suo centro una leva orizzontale ben equilibrata e mobilissima, è chiaro dover la sfera attrarla e farla girare, perciocchè la gravità in questo caso sarebbe distrutta. La leva orizzontale dunque sarebbe una maniera di pendolo, oscillerebbe per l'attrazione della sfera anzidetta, come il pendolo comune per quella della Terra. E se in vece di una sfera

(1) Il Newton lasciò scritto che se si fosse trovato un monte di figura conica avente l'altezza di 3 miglia ed il diametro della base di 6 ed una densità eguale a quella della Terra, il filo a piombo in vicinanza di questo avrebbe declinato dalla verticale per un angolo di 2". Le osservazioni di Bouguer e la Condamine sul Kimborako, quelle di Moskeline su di un monticello della Scozia, han luminosamente confermate le predizioni del valentuomo.

due se ne ponessero in vicinanza dei due estremi della leva, si comprende l'effetto dover esser doppio; onde con questo mezzo, prendendo delle sfere assai grandi e delle leve mobilissime, potrassi senza dubbio rendere aperta l'azione della materia sulla materia, e produrre in piccolo intorno a queste sfere di metallo ciò che in grande sulla Terra producesi.

Lo strumento di Cavendish è espresso dalle *figure* 67 e 68. La *figura* 68 ne rappresenta la proiezione orizzontale: *u* e *v* sono le due sfere di metallo, esse erano di piombo, e ognuna pesava 157^k, 925; *abcd* rappresenta la sezione di una cassa nella quale era chiusa la leva mobile per difenderla da qualunque agitazione dell'aria; *s* ed *s'* son due piccole sfere sospese ai capi estremi della leva mobile e perfettamente equilibrata.

La *figura* 67 esprime un taglio verticale, ove le stesse lettere le medesime cose dinotano: ivi si scorge come le due piccole sfere sieno sospese per mezzo di un filo di argento, il quale penetra gli estremi della leva, si congiunge in *n* col filo verticale *ff* forte a segno da sostenere l'asta e le piccole sfere *s*, *s'*, e la torsione del quale è la sola forza che si oppone alle oscillazioni: le due masse *u* e *v* sono anch'esse sospese da spranghe di ferro, e posson rotare intorno alla cassa: esse passano continuamente dalle posizioni *u*, *v* segnate in linee continuate in quelle *u'*, *v'* segnate in linee punteggiate; son recate in tali situazioni per un'operazione che eseguesi da fuori: da ultimo tutto lo strumento è chiuso in una stanza senza porte e senza finestre, ed illuminata da una lampada *g* posta al di fuori del muro per non riscaldare l'aria interna, e per mezzo della lente *ll* si osservano i moti che producònsi.

Essendo tutto in quiete, e le masse *u* e *v* nella situazione nella quale non operano, vale a dire in direzione perpendicolare alla leva mobile, si fanno girare per ridurle nella posizione indicata dalla *figura* 68; allora la leva comincia a girare, le piccole sfere *s* ed *s'* sono attratte ciascuna verso la corrispondente sfera grande, e le oscillazioni incominciano. E ciò prova in una maniera assai chiara la materia attrar la materia, e le palline *s* ed *s'* tendere a cadere sulle grandi sfere di piombo, per quella medesima forza che le farebbe cadere sulla Terra, e la differenza nascer solo dalla differenza delle masse. Questo fatto importante essendo fermato, è mestieri osservare la durata delle oscillazioni delle piccole sfere, la lunghezza della leva agli estremi della quale oscillano, e la distanza delle medesime da' centri delle grandi sfere *u* e *v*, i quali son da considerare come i centri di attrazione. Quindi correggendo i risultamenti col tener conto degli effetti della torsione del filo di sospensione, si giunge a conoscere la forza di una sfera di piombo del peso di 157^k, 924 per fare oscillare un pendolo semplice di conosciuta lunghezza e posto ad una data distanza del centro di essa. Ridotta la quistione a questo punto, basterà una proporzione per aver la massa della Terra paragonata a quella del globo di piombo, perciocchè queste masse sono tra loro come le lunghezze de' pendoli semplici a secondi posti ad uguali distanze dal centro. In siffatta proporzione tutto è noto, tranne la massa della Terra, la quale può perciò esser dedotta: si conosce poi il suo volume mercè la misura del meridiano; e dividendo finalmente la massa per lo volume, si avrà la sua densità media. Per ultimo risultamento di queste belle esperienze, Cavendish trova la densità media della Terra di 5,48, vale a dire cinque volte e mezzo la densità dell'acqua approssimativamente.

Conoscendo la densità ed il volume della Terra, è facile conoscere di quanti chilogrammi sia il suo peso, o forse meglio quanti chilogrammi di peso si avrebbero se si potessero prendere successivamente a pezzi, per esempio ognuno di un metro cubico, tutte le sostanze delle quali essa è composta per pesarle in una bilancia, a Londra o a Parigi, e se si potessero tutte riporre al proprio luogo dopo di averle pesate; perciocchè da quanto abbiam detto sull'attrazione generale della materia, possiamo esser certi che nel pesare un pezzo, tutte le molecole del globo concorrono con la loro azione a far pendere la bilancia.

Nelle osservazioni e ne' calcoli astronomici, la massa dei pianeti e quella del sole si valutano per mezzo della massa della Terra; donde segue che dal peso della Terra giungiamo a conoscere il peso di tutti i pianeti. Laonde il piccolo strumento di Cavendish è una bilancia nella quale si può pesare il mondo.

SUPPLIMENTO QUARTO.

Poche nozioni sulle macchine.

I.

Generalmente col nome di *macchina* suolsi dinotare ogni strumento, che situato su di un punto di appoggio, valga a trasmettere l'azione di una potenza sopra un corpo resistente posto fuori la direzione di essa, sia per comunicare o torre a questo un moto, o in qualunque maniera regolarne la velocità o la direzione.

In ogni macchina il fisico deve principalmente tre cose considerare; vale a dire, una potenza o forza motrice, una resistenza, ed un punto di appoggio comune ad entrambe.

Le diverse parti delle macchine furon diversamente classificate prima da Monge, e poi da altri, particolarmente dal Borgnis (1), secondo il diverso fine cui sono ordinate; ma non dovendo io entrare in questi particolari, invio gli studiosi alle opere di costoro.

Forza o potenza dicesi tutto ciò che vale a produrre un moto; come l' urto istantaneo ripetuto, la pressione di un grave, di una molla, o di un animale. Ma quest' urto o questa pressione, sia comunque ingenerata, sarà sempre una quantità di moto, e però il prodotto di una massa in una velocità. E siccome l' effetto di una forza applicata ad una macchina risultar deve dalla intensità della forza medesima, dalla velocità che ne' diversi casi può imprimere alla resistenza, e dal tempo durante il quale essa opera; perciò è chiaro che l' effetto suddetto sarà espresso da FVT; dicendo F la forza, V la velocità e T il tempo.

Nascendo poi la resistenza dalla somma di tutti gli ostacoli che nella macchina oppongonsi alla potenza, può essa venir considerata come una forza R opposta alla potenza; e però il suo effetto potrà parimenti esprimersi con RV'T, chiamando V' la velocità che potrebbe eccitare.

L'ipomoclio o punto di appoggio sostiene la potenza e la resistenza che sono su di esso equilibrate, e però può esser riguardato come una forza opposta ed eguale alla risultante di esse.

Varie possono essere le potenze che si applicano alle macchine, e secondo la varietà di queste variano anche le parti delle macchine ordinate a ricevere il moto, parti che nella classificazione fatta dal Borgnis son dette *organi ricevitori*, i quali il lodato scrittore ha diviso in cinque specie dipendenti dalle diverse potenze: essi son detti 1.° ricevitori *zoodinamici* vale a dire a forza animale, 2.° ricevitori *idrodinamici* o sia ad acqua, 3.° ricevitori *termodinamici* cioè a vapore, 4.° *pneumadinamici* che sono gli organi ricevitori de' mulini a vento, 5.° finalmente ricevitori diversi che corrispondono ad altre potenze, quali sono la gravità, l'elasticità, ec.

Di tutte queste diverse potenze i fisico-matematici han calcolato le intensità. Dell'acqua, del vapore e dell'elasticità si parlerà altrove; e qui solo diciamo qualche cosa intorno alle forze animali; sulle quali molte esperienze e molti calcoli sonosi fatti per poterne valutare gli effetti.

Gli animali che più comunemente adopransi a muover le macchine essendo gli uomini ed i cavalli, così alla forza di questi specialmente si rivolsero i fisici, e s' ingegnarono segnatamente a determinare quale sia la forza, quale il momento statico di questi animali, e quale la fatica giornaliera di cui sono capaci.

Si è conosciuta la forza di un uomo in un conato di pochi istanti, mercè uno strumento detto *dinamometro*. Quello ideato da Regner (2), e col quale si son fatte nella Scuola Politecnica di Parigi molte esperienze, è una molla curvata in ellissi lunga circa 0.3 di metro, in maniera che con quanta maggior forza si stringa secondo l' asse minore o si tiri secondo l' asse maggiore, tanto più si avanza un indice sopra un lembo graduato. « I risultamenti di queste » esperienze mostrano che il termine medio » del massimo della forza degli uomini ordi- » nari 1.° nello stringere con le mani (opera- » zione che meglio e più comodamente riesce » se le braccia si portino in avanti inchinan- » dole ad angolo semiretto con la verticale) » equivale a 50 chilogrammi; 2.° nel sollevare » verticalmente un peso; tenendo il corpo ben » dritto, e solo incurvate un poco in avanti le » spalle (ottima posizione), equivale a 130 chi- » logrammi; 3.° nel tirare orizzontalmente, » mettendosi nella positura in cui soglion met- » tersi quelli che tirano carrette o barche, cor- » risponde a 50 chilogrammi ».

Alcuni uomini assai robusti, usando con arte della lor forza muscolare, fan cose maravigliose agli occhi del volgo. Il Desaguliers descrive e spiega molti di questi apparenti prodigi, ed alcuni se ne trovano anche spiegati nel T. I della Scienza della nat. del P. della Torre. Non mancano però degli uomini che hanno da natura sortita una forza superiore all' ordinaria (3).

Dicesi poi *momento statico* il prodotto del peso che un animale è capace di sollevare per mezzo di una macchina ad un metro o ad altra unità di altezza in 1'' o altra unità di tempo. Così se un uomo in 1' sollevi per mezzo di una macchina un peso di 34 chilogrammi all' altezza di un metro, il momento statico di quest' uomo sarà 34 × 1 metro. Il momento statico adunque è la misura dell' azione dell'animale in 1''. Bernouilli, Borda ed altri fecer multiplici esperienze per conoscere il momen-

(1) *De la composition des Machines.*
(2) *V. Journal Polytech.* Cah. V.

(3) *V. Bibliot. Univers.* T. 39. p. 154.

to statico dell'uomo, ed ebber risultamenti diversi, quantunque veri. La differenza nascea dalla varia maniera con la quale nelle varie esperienze gli uomini si applicavano alle macchine, e particolarmente dall'angolo che il lor corpo facea con l'orizzonte. Avvedutosi di ciò il Lambert (1), si conobbe non potere una sola formola esser sufficiente ad esprimere il momento statico dell'uomo, e perciò il Prony (2) esibì delle formole con le quali si calcola questo momento secondo le varie posizioni del corpo.

Intorno alla fatica giornaliera degli animali due cose principalmente importa di conoscere:

1.° Quale sia la quantità di azione o l'intero effetto che un animale può produrre in un giorno senza sconcertarsi, o in altri termini qual peso può un animale sollevare in un giorno ad una determinata altezza.

2.° Data la fatica che un animale può durare in un giorno, come potrà conseguirsene il maggiore effetto, che si stimerà dal massimo peso che può sollevare ad una data altezza?

Daniele Bernouilli supponeva che in qualunque maniera un uomo lavori, o camminando o tirando, con macchina o senza, al medesimo grado di fatica corrisponda sempre il medesimo effetto o la medesima quantità di azione. In guisa che facendo comunque variare il peso, il tempo, e la velocità, che sono gli elementi da' quali risulta la quantità di azione dell'uomo, se il loro prodotto sarà lo stesso, la stessa fatica dovrà l'uomo durare. La fatica di un giorno stimava doversi intendere di 7 in 8 ore, e fondandosi su questa ipotesi, calcolava la fatica giornaliera di un uomo addetto a qualsivoglia lavoro per un peso di 172800 lib. francesi inalzate a un piede parigino di altezza (3). L'opinione del Bernouilli fu accolta dall'universale, fino a che il Coulomb in una memoria letta all'Accademia Reale delle Scienze di Parigi non dimostrò la fatica non esser sempre alla quantità di azione proporzionale, e potersi aumentarne l'effetto, senza accrescerla gran fatto, col variare opportunamente la specie del lavoro. E fermo, un uomo il quale possa lavorar seduto comodamente, produrrà maggiore effetto che se fosse in altra più incomoda posizione. Se dopo aver per lungo tempo lavorato con le braccia, incominci a lavorare coi piedi che ha tenuti in riposo, l'effetto sarà maggiore di quello che sarebbe stato se avesse dovuto continuare a lavorare con le braccia. Del resto la teoria del Bernouilli, tranne alcune eccezioni, può nella maggior parte dei casi aversi come vera.

Sulla forza e sul momento statico de'cavalli abbiamo alcune notizie poco precise. Si è creduto la forza del cavallo quintupla di quella dell'uomo, da altri si è reputata sestupla, e l'esperienze fatte col dinamometro di Regner l'han dimostrata sette volte maggiore allorchè il cavallo è adoperato a tirare orizzontalmente. Il Sauveur ne stima lo sforzo medio in 1″ equivalente a circa 200 libbre francesi sollevate all'altezza di tre piedi parigini. Vuolsi però aver per certo che i cavalli vengono più utilmente adoperati a tirare che a trasportare, perciocchè questi tirando spingonsi innanzi, inclinano le gambe, e portano il petto verso la terra, onde adoperano non solo la forza muscolare, ma anche profittano del proprio peso. Ecco perchè, come osserva anche il Borgnis, talvolta il cavallo avente l'uomo in sella dimostra nel tiro una maggior forza.

Premesse tali cose, volendosi risolvere il secondo degli accennati problemi sulla giornaliera fatica degli animali, uopo è ricordarsi che l'effetto prodotto da un animale applicato ad una macchina, è sempre espresso per FVT, e però volendosi il massimo effetto conviene che questa espressione abbia il massimo valore. Laonde, uopo è che le direzioni della potenza e della resistenza siano, se è possibile, nello stesso piano, che sian parallele, o facciano il minimo angolo, e che la direzione della potenza sia perpendicolare alla retta che unisce il punto di applicazione della resistenza con l'ipomoclio. Conviene anche badare alla scelta della macchina, preferendo quella cui meglio si adatti la potenza della quale si dee usare, e fare per quanto è possibile che il peso della macchina coadiuvi la potenza. Da ultimo non minor cura convien che si ponga nell'evitare qualunque inutile dispersione di forze, come gli urti non necessari (onde la pressione è spesso preferita alla percossa), i moti superflui, ec. Dopo di aver procurato di dare alla potenza il massimo effetto, uopo è ingegnarsi perchè minimo riesca quello della resistenza, il che si ottiene col diminuire, per quanto è in nostro potere, tutti gli ostacoli, quali sono l'attrito, la rigidezza delle corde, ed altri de'quali si parlerà più appresso.

Ma sia qualunque la forza, si usi in qualsivoglia maniera, l'effetto istantaneo sarà sem-

(1) *Mem. dell' Acc. di Berlino per l'anno 1776.*
(2) *Arch. Hydraul. Sect. V.*
(3) Vedasi la sua memoria *Sur la manière de suppléer en mer à l'action du vent*, premiata dall'Accad. delle Scienze di Parigi per l'anno 1753.

pre lo stesso finchè essa non abbia sofferta alcuna alterazione; nè la Meccanica co' suoi mezzi potrà mai renderlo maggiore senza aumentare la forza; *non permettendo la natura*, al dir del Galileo, *di esser superata nè defraudata dall'arte*. Volendosi perciò aumentare l'effetto totale di una forza, non si presenta altro mezzo, che o di unirla ad altre forze cospiranti, o di aumentare il numero degl'istanti ne' quali essa opera conservandone gli effetti istantanei, il che appunto con le macchine si consegue.

Le forze sogliono applicarsi alle macchine o per ridurle in equilibrio o per averne un moto. Trattandosi dell'equilibrio, può, è vero, una piccola forza stare a fronte di resistenza grandissima, e ridurre la macchina in equilibrio; ma questo effetto non è prodotto interamente dalla forza, perciocchè questa vince solo una porzione della resistenza, il rimanente essendo opera dell'ipomoclio e delle altre cagioni che son di ostacolo al moto, come per esempio l'attrito ec. le quali perciò *forze passive* furono chiamate. « Ed allorquando Archimede, » dice il Gerbi, chiedeva un punto di appoggio » per tenere in equilibrio con una macchina » il cielo e la terra, contava ben più sulla for» za di questo punto che sulla sua ». Ecco perchè nelle macchine in equilibrio, supposto nullo l' attrito ed ogni altra resistenza, è da considerare il punto di appoggio come una forza eguale ed opposta alla risultante della potenza e della resistenza.

Se si debban conoscere le condizioni di equilibrio di una macchina, basterà por mente alle forze ed al punto di appoggio. Ma se debbasi conoscere l'effetto delle macchine in moto, è mestieri anche di tener conto delle velocità de' punti ove queste forze sono applicate. E per intendere di ciò la ragione, uopo è osservare, che il moto prodotto da una potenza in una macchina, da prima accelerato, va diventando poi a mano a mano uniforme, e ciò per varie ragioni: 1°. perchè l'energia della potenza può scemare: e per fermo, se questa è costituita da un animale, si va indebolendo con la continuazione della fatica, e se è l'elasticità, questa produr deve tanto meno effetto per quanto minore è la differenza tra la velocità del corpo urtante e quella dell'urtato: 2.° può anche accadere, che crescendo l'azione della forza facciansi anche gli ostacoli maggiori, come avviene alle resistenze *di mezzo*. Sia per queste o per altre cagioni, la ragione delle due forze va approssimandosi a quella voluta per l'equilibrio; ed in tal caso le forze scambievolmente distruggendosi, la macchina si muove per lo moto acquistato, il quale per l'inerzia della materia restar suole uniforme (1).

Le due forze F, F' siano successivamente applicate a due punti diversi di una macchina, e diano alla resistenza della massa R le velocità V, V'; le quantità di moto che si produrranno, mentre la resistenza percorre lo spazio S per le due suddette forze, saranno eguali. Suppongasi infatti essere s lo spazio che la resistenza descrive in virtù della prima forza, con la velocità iniziale nel tempuscolo t; si avrà lo spazio che descrivesi nello stesso tempuscolo per effetto della seconda forza, facendo $V: V' = s: \frac{sV'}{V}$. Per le quantità di moto poi nella resistenza in detto minimo tempo si ha $RV: RV' = Rs: R: \frac{sV'}{V}$.

Siano N, N' le somme degli spazietti elementari s, $\frac{sV'}{V}$ contenuti in S. Dopo percorsi tutti questi elementi, ovvero lo spazio S, le quantità di moto saranno come $RNs: \frac{RN'sV'}{V}$. Ed essendo il numero delle parti in cui una quantità dividesi reciproco della grandezza di esse, perciò sarà $N: N' = \frac{sV'}{V} : s$, ed $N' = \frac{NV}{V'}$. Sostituendo questo valore di N' nell'antecedente ragione delle quantità di moto prodotte nel percorrere lo spazio S, si vedrà che esse sono fra loro come $NRs: NRs$, cioè eguali.

Dovendo poi gli effetti delle forze F, F' prodotti sulla resistenza seguire la proporzione delle forze moltiplicate pe' tempi, T, T' nei quali operano, perciò si avrà $FT = F'T'$, vale a dire $F: F' = T': T$; cioè i tempi spesi dalla resistenza a percorrere lo spazio S con le velocità comunicatele dalle sopraddette forze, sono in ragion reciproca delle intensità delle medesime.

Dal che segue, il tempo che si spende a far descrivere un dato spazio alla resistenza, esser tanto maggiore per quanto minore è la forza che si adopera. Laonde può in Meccanica aversi per indubitato che nelle macchine in moto si perde in tempo ciò che si guadagna in

(1) V. *Bossut, Traité de Méc.* p. 2.

forza. E però se Archimede avesse avuto in pronto una macchina con la quale, facendo uso della propria forza, avesse voluto tentare di far passare la terra dall'equilibrio al moto, in un numero grandissimo di anni le avrebbe fatto appena percorrere brevissimo spazio.

Quale è dunque il vantaggio che si ha dalle macchine? Non quello di produrre grandi effetti con piccioli mezzi, ma sibbene quello di offrir mezzi più comodi, e di accumulare gli effetti istantanei della potenza i quali senza la macchina sarebber perduti. Gli effetti della potenza e della resistenza in ogni macchina sono espressi da due prodotti, i cui fattori sono, come fu già avvertito, forza, tempo e velocità. Ora è chiaro potersi questi prodotti mantenere gli stessi variando in mille guise i fattori. Così può diminuirsi la forza con discapito di tempo, la velocità con discapito di forza. Ed ecco il potere delle macchine a che riducesi.

Affin di rendere più chiara questa verità, illustriamola con un esempio. Se un uomo abbia una forza da potere inalzare un peso di 25 libbre all' altezza di 5 piedi in 1'' di tempo, costui non potrà mai senza l'ajuto di una macchina elevare ad eguale altezza un peso maggiore, di 1000 libbre, nè anche in tempo maggiore, perciocchè l'effetto che la sua forza produce in ogni minuto secondo, riman sempre dalla maggior resistenza distrutto. Ma quel che non può aversi per la immediata applicazione della forza, si ottiene mercè di una macchina, con la quale questi ripetuti piccoli effetti si accumulano e si ripetono tante volte, fino a che la loro somma eguagli l' effetto totale che si deve produrre, cioè l' elevazione di 1000 libbre all'altezza di 5 piedi, essendo l'effetto di una forza espresso da FVT, siccome non ha guari si disse, nel caso presente F=25, V=5, T=1'', sarà FVT=125; ma questo effetto deve essere eguale a quello della resistenza espresso da RVT, che nel caso nostro riducesi a 1000V', essendo R=1000; dunque 125=1000V', e $V'=\frac{125}{1000}=\frac{1}{8}$. Dunque la potenza in un secondo potrà sollevare la resistenza per $\frac{1}{8}$ di piede; e perchè questa sia portata all'altezza di 5 piedi, si dovrà per 40 volte ripetere la stessa azione. Una forza dunque=25 produrrà in 40'' quell'effetto che una forza=1000 produrrebbe in 1''. Ed essendo 1: 40=25: 1000, segue esser tanto maggiore il tempo per quanto la forza è minore.

Quello che si è detto per un minuto secondo può dirsi egualmente per un istante più piccolo, per ispiegare come, per mezzo di una macchina, con una data forza, si smuove in un istante una resistenza che non si sarebbe potuta smuovere con la immediata applicazione della forza medesima.

Premesse queste generali avvertenze intorno alle macchine, passiamo ad esporre le condizioni di equilibrio in ciascuna di esse. Ma conviene innanzi tratto rammentare la dottrina dell' equilibrio altrove esposta, la quale ora si applica alle macchine, nelle quali la potenza e la resistenza son considerate come due forze che trovansi nello stesso piano, e debbono equilibrarsi intorno al punto fisso di appoggio, o intorno ad un asse che passi per questo punto perpendicolarmente al piano delle forze. Laonde condizione necessaria per l' equilibrio di queste forze è, che la risultante di esse passi per l' anzidetto punto, talchè i loro momenti ad esso riferiti sieno eguali ed opposti.

Le macchine si distinguono in semplici e composte. Le semplici sono la *leva* o *vetta*, la *carrucola* o *girella*, l'*argano* o *asse nella ruota*, il *piano inclinato*, la *vite*, ed il *conio*, alle quali il Varignon aggiunse la *macchina funicolare*. Alcuni non considerano la vite ed il conio come macchine distinte dal piano inclinato, ed altri tutte le macchine semplici riducono alla leva.

II.

Della leva. — Che cosa sia la leva, ed in quanti generi si divida, fu altrove dall' Autore esposto. Non resta a far altro, che dimostrare le condizioni di equilibrio ne'tre generi di leve.

Nella leva la potenza e la resistenza son due forze che tendono a farla rotare per versi contrari; quindi si avrà in essa equilibrio se i momenti della potenza e della resistenza riferiti all' ipomoclio scambievolmente distruggansi, o, che val lo stesso, sieno eguali; e però è chiaro dover essere la potenza alla resistenza in ragion reciproca delle rispettive braccia di leva.

Altri sogliono dimostrare questa verità senza ricorrere a' momenti di rotazione; essi considerano la potenza e la resistenza come due masse, e le rispettive braccia come le velocità; e perchè quando le masse sono in ragion reciproca delle velocità le quantità di moto sono eguali, perciò essi conchiudono doversi nella leva avere equilibrio quando la potenza sta alla resistenza in reciproca ragione delle rispettive braccia di leva.

Ciò si dee intendere astrazion fatta dal peso della leva; che se essa si consideri come grave,

il suo peso che diremo g deve essere considerato come una forza applicata al centro di gravità Q della leva medesima (*Tav. agg. fig.* 21); ed il suo momento $g \times QC$ si dee considerare come coadiuvante la potenza o la resistenza. Se la leva è di primo genere, apparisce chiaro potersi l'uno o l'altro caso verificare, potendo cioè il centro di gravità della leva trovarsi tra A e C come nella figura è segnato, ovvero tra C e B. Nel primo caso dal momento della potenza sottratto quello del peso della leva, il residuo dovrà essere eguale al momento della resistenza affinchè si abbia l'equilibrio; nel secondo caso poi, il momento della potenza convien che sia eguale alla somma de' momenti della resistenza e del peso della leva. Nella leva di secondo e terzo genere deve sempre il momento della potenza essere eguale alla somma de' momenti della resistenza e del peso della leva, se la potenza deve alzare la leva, ed alla differenza quando deve tirarla giù come nelle valvole di sicurezza. In queste considerazioni non si è compreso l' attrito, nè alcuni altri ostacoli. È mestieri avvertire che alle volte si fa uso di leve curve, e spesso le forze non son parallele ma inclinate ad angolo; in tali casi si sa da quel che si è innanzi detto, le braccia di leva esser le perpendicolari abbassate dall'ipomoclio sulle direzioni delle forze, come apparisce dalla dottrina de' momenti, e come può sempre rendersi aperto mercè le solite risoluzioni. Si noti finalmente che se il centro di gravità della leva coincida coll'ipomoclio, essa potrà esser considerata come priva di gravità.

Potendosi una retta dividere in modo che una parte serbi all' altra una ragione qualunque, facilmente intenderassi, con una leva di primo genere, almeno teoricamente, potersi, con una qualunque forza, superare una qualunque resistenza. Onde Archimede in questo senso avea ragione di dire: *Da ubi consistam, et coelum terramque movebo.*

Nella leva di secondo genere, una potenza minore equilibrerassi con una resistenza maggiore, e nel caso di moto la potenza avrà sempre maggiore velocità della resistenza, ovvero in questa leva si avrà risparmio di forza e perdita di tempo. Avviene poi perfettamente l'opposto nella leva di terzo genere, ove il braccio della resistenza è necessariamente maggiore di quello della potenza.

Nella leva di secondo genere il suo peso è d'ordinario a scapito della potenza; per cui col fare questa leva più lunga, mentre da una parte si favorisce la forza, dall' altra si contraria: e però avvi sempre una certa lunghezza per la quale si ha il massimo vantaggio, alla determinazione della quale si perviene facilmente per mezzo del calcolo differenziale.

La bilancia, della quale altrove si è parlato, è una leva di primo genere, e dopo i principii esposti meglio si comprende quello che l' Autore ne ha detto (1).

La stadera o bilancia romana (*Tav. agg. fig.* 24) è anche una leva di primo genere. All'estremo A del braccio più corto si sospende il corpo che si vuol pesare, e sull' altro braccio FB si fa scorrere un peso P detto *marco* da alcuni meccanici, come dal Venturoli, da altri *romano*. Se la stadera scarica è equilibrata intorno all' ipomoclio F, si potrà considerare come priva di gravità; in altro caso converrà tener conto del suo momento. Sarà però sempre vero che ponendosi nella stadera dei pesi crescenti in progressione aritmetica, le braccia di leva del romano cresceranno del pari in progressione aritmetica nel caso di equilibrio (2). Tra le leve di primo genere vanno finalmente le forbici, le tenaglie, il martello allorchè si adopera per cavare i chiodi, ec. Leve di secondo genere poi sono i remi, le imposte delle porte e delle finestre, le mascelle degli animali, ec. Son leve di terzo genere finalmente i pedali degli organi, le calcole dei telari, le stanghe onde mettonsi in moto le macchine degli arrotini, e le ossa degli animali co' loro muscoli, i quali fanno da potenze operanti ad angoli molto acuti, in guisa che mentre servono a superare la resistenza, stringono anche le ossa verso le rispettive giunture, accrescendo così la fermezza del sistema. Qualora si voglia por mente alla natura della leva di terzo genere ed alla obbliquità di direzione de' muscoli, si comprenderà la forza dei medesimi dover essere grandissima.

I meccanici dalla dottrina della leva ricavano l' altra non meno importante della pressione su i sostegni, conosciuta la quale, essi

(1) Oltre del metodo del pesar doppio del quale ha parlato l' Autore per conoscere il peso vero con una bilancia falsa, avvene anche un altro. Sia m il corpo da pesarsi: pongasi questo in una delle coppe della bilancia, e supponiamo che si equilibri con un noto peso c posto nell' altra coppa; poi si metta in questo il peso m toltone c, ed in quello ove prima era m un altro noto peso c' che si equilibri nuovamente con m: dico la media proporzionale tra c e c' essere il peso vero. Imperciocchè chiamando a il braccio della bilancia corrispondente alla coppa nella quale si è posto il corpo m, e b l' altro braccio, avremo, nel primo caso, $bc=am$, e nel secondo $bm=ac'$, e quindi $bc \cdot am=bm : ac'$, donde ricavasi $m^2=cc'$, ed $m \sqrt{cc'}$.

(2) V. Poinsot, *Élémens de Statique.*

procurano con l'aiuto della esperienza e del calcolo di valutare le resistenze de' solidi alla rottura ed allo schiacciamento; dalle quali considerazioni il Galileo ne dedusse « l'impossibi-
» lità del potere non solamente l'arte, ma la
» natura stessa crescer le sue macchine a va-
» stità immensa ; sicchè impossibil sarebbe
» fabbricare navilii, palazzi, o templi vastis-
» simi, li cui remi, antenne, travamenti, ca-
» tene di ferro, ed in somma le altre lor parti
» consistessero ; come anco non potrebbe la
» natura far alberi di smisurata grandezza,
» poichè i rami loro gravati dal proprio peso
» finalmente si fiaccherebbero ; e parimente
» sarebbe impossibile fare strutture di ossa
» per uomini, cavalli, o altri animali, che po-
» tessero sussistere, e far proporzionatamente
» gli uffizii loro, mentre tali animali si doves-
» sero augumentare ad altezze immense ; se
» già non si togliesse materia molto più dura
» e resistente della consueta , o non si defor-
» massero tali ossi sproporzionatamente in-
» grossandoli , onde poi la figura ed aspetto
» dell' animale ne riuscisse mostruosamente
» grosso (1) ».

Non vo' lasciare finalmente di avvertire che coi principii finora esposti si posson conoscere le condizioni di equilibrio anche in un sistema di leve. Prendiamo per esempio la stadera composta (*Tav. agg. fig.* 25) la quale è formata da due leve, delle quali AD è di primo genere ed FE di secondo. Dicasi P la potenza , R la resistenza , ed x la forza che fa la prima leva sull'estremità della seconda ove fa da potenza: siano a, a' le braccia corrispondenti alle potenze , e b , b' quelle corrispondenti alle resistenze ; sarà $Pa = bx$, ed $a'x = b'R$, donde $Paa' = Rbb'$, ovvero $P : R = bb' : aa'$. Quindi se $a = 6$, $a' = 8$, $b = 1$, $b' = 1$, sarà $bb' = 1$, $aa' = 48$, onde una libbra, per esempio, sarà in equilibrio con 48.

III.

Della carrucola o girella. — La carrucola è un cilindro di piccola altezza, avente nella superficie convessa una scanalatura, in cui si pone una fune, tirando la quale esso gira intorno al proprio asse. Se la carrucola mentre opera ha fisso il centro, dicesi *fissa*; dicesi poi *mobile* se è trasportata dall'azione della potenza o della resistenza.

La carrucola fissa riducesi, come è chiaro da se, ad una leva di primo genere nella quale le braccia della potenza e della resistenza sono eguali; per cui questa macchina è utile solo a dirigere la forza. Ma la cosa è diversa nella girella mobile.

Sia TMNP una fune la quale, essendo fissa nel punto T, avvolgasi alla carrucola mobile MNQ (*Tav. agg. fig.* 26), e la resistenza R sia appesa al centro C della carrucola per mezzo di una cassetta rappresentata dalla linea CR che ne dinota anche la direzione , siccome la parte NP della fune esprime quella della potenza che supponesi applicata in P.

La potenza tende a far girare la carrucola secondo NP, intorno al punto di appoggio T la cui azione si riporta in M , mentre la resistenza tende a far rotare la carrucola intorno al punto medesimo , ma per verso contrario , cioè secondo CR. Nel caso di equilibrio dunque convien che i momenti della potenza e della resistenza riferiti al punto M siano eguali. Dal centro C della carrucola intendansi menate le CN, CM ai piani ove la fune si stacca dalla medesima (si considera per semplicità la carrucola come un cerchio), poi si tiri la corda MN la quale resterà divisa per metà dalla CR. Finalmente dal punto M si abbassi la ME perpendicolare sulla direzione di P, e questa rappresenterà la distanza della forza P dal centro M de' momenti. Laonde per l'equilibrio dovrà essere $P.\ ME = R.\ MI$, o sia $P : R = MI : ME$. Or pei triangoli simili CMI , EMN si ha $MI : ME = MC : MN$; dunque sarà $P.\ R = MC : MN$; cioè nella carrucola mobile in equilibrio uopo è che stia la potenza alla resistenza come il raggio della carrucola sta alla corda che unisce i due punti ne' quali la fune da quello si scosta. Segue da ciò , che la corda è eguale al raggio, vale a dire se l'arco MN è di 60°, la potenza non ha alcun vantaggio alla resistenza; e se la corda è minore del raggio, v'ha perdita di forza. Ma se i due capi di fune sian paralleli talchè sian tangenti agli estremi del diametro, avendosi la corda eguale al diametro , si avrà $P : R = 1 : 2$, ed è questo il massimo risparmio di forza che aver si possa con la carrucola mobile. Nel ragionamento antecedente si è fatta astrazione dal peso della carrucola , il quale è da considerare come un aumento di resistenza, siccome di leggieri s' intende.

Soglionsi spesso unire molte carrucole in un sistema, che suol dirsi *taglia* , e da taluni anche *polispasto*.

Prendiamo in disamina il sistema di carrucole mobili A, A', A'' (*Tav. agg. fig.* 27).

La prima A sostiene la resistenza di R, ed è afferrata da una fune che con un capo è fer-

(1) Dialogo II.

mata in F, essendo l'altro congiunto alla cassa della seconda carrucola A': questa seconda carrucola è del pari tenuta da una fune fermata con un capo in F'' e con l'altro legata alla cassa della terza carrucola: e così continuando fino all'ultima, la fune della quale essendo anche con un capo fermata in F', è tratta dall'altro dalla potenza P.

Se tutto il sistema è in equilibrio, lo sarà ogni carrucola mercè le forze o *tensioni* che operano su di esse. Onde chiamando r, r', r'' i rispettivi raggi di ciascuna carrucola, $c, c' c''$ le corde degli archi afferrati dalle funi, ed X la tensione della prima fune, Y quella della seconda, si avrà per l'equilibrio della carrucola A

$$X : R = r : c$$

similmente per l'equilibrio di A',

$$Y : X = r' : c'$$

e per quello di A''

$$P : Y = r'' : c',$$

e quindi

$$P : R = rr' r'' : c' c''$$

vale a dire la potenza alla resistenza come il prodotto de'raggi delle carrucole a quello delle corde che sottendono gli archi afferrati dalle funi.

Se tutte le funi fosser parallele come nella fig. 28 (*Tav. agg.*) tutte le corde diverrebbero eguali ai diametri $2r, 2r', 2r''$, e quindi avrebbesi

$$P : R = 1 : 2.\ 2.\ 2;$$

e per un numero n di carrucole

$$P : R = 1 : 2^n;$$

cioè in questo sistema si ha equilibrio quando la potenza sta alla resistenza come 1 sta alla potenza di due dinotata dal numero delle carrucole. La carrucola S però non deve esser computata come quella che essendo fissa suolsi adoperare per poter più comodamente applicare la forza al sistema. Questa da taluni è detta carrucola *di rimando*.

Un' altra maniera di taglia è rappresentata dalla figura 29 (*Tav.agg.*). Qui, come si vede, ad ogni carrucola mobile ne corrisponde un'altra fissa, ed una sola fune passa per tenere le carrucole del sistema. Supponiamo, come per lo più suole avvenire, che le corde sian parallele: si avrà, per l'equilibrio, la potenza alla resistenza come uno sta al numero delle funi che tengon sospese le carrucole mobili, cioè nel caso della figura, come 1 : 6; perciocchè essendo tutte le carrucole tratte da una sola fune, e dovendo essere ciascuna in equilibrio tutt'i capi della fune dovranno essere egualmente tesi. Si può dunque considerare il peso R come sostenuto da tante forze eguali e parallele per quanti sono i capi di fune che vanno dalle mobili alle fisse, e però la tensione di uno di questi capi, o la potenza P, dovrà stare al peso R come l'unità sta al numero de'capi di fune appartenenti alle carrucole mobili (1).

Si possono in varie maniere disporre le taglie; ma la maniera di valutare l'equilibrio può sempre ridursi ad una delle due precedenti.

La carrucola essendo di un uso assai frequente nelle arti, così molti sonosi adoperati mercè l'esperienza a conoscere quali dimensioni meglio le convengano, in qual modo debba esser fatta per riuscire più comoda e dar meno attrito, e quale sia lo sforzo di cui è capace secondo la diversa materia onde è formata (2).

IV.

Asse nella ruota.—Questa macchina è composta di una ruota e di un cilindro *da*, che hanno l'asse comune (*Tav. 1. fig. 19*). Invece della ruota vi può essere un manubrio, o alcune aste confitte nel cilindro (*Fig. 20*), o un tamburo capace di contenere animali. La potenza si applica alla circonferenza della ruota o agli estremi delle aste o manubri, e così il cilindro girando avvolge intorno di sè una fune innalzante un peso. È chiaro i momenti della potenza e della resistenza riferirsi allo stesso asse, e questi dover essere eguali se l'una stia all'altra come il raggio del cilindro a quello della ruota; talchè se il cilindro abbia per raggio un pollice e la ruota 10, si avrà l'equilibrio tra una libbra di potenza e 10 di resistenza. Onde è chiaro aversi maggior risparmio di forza aumentando il raggio della ruota, o accorciando quello del cilindro.

Suppongo in questa macchina la potenza e la resistenza aver direzioni in piani perpendicolari all'asse del cilindro, e perciò parallele tra loro; che se ciò non fosse, converrà risolverle rispettivamente in due, una perpendicolare, l'altra parallela al detto asse. In tal caso siccome la parte parallela per nulla contribuisce alla rotazione del cilindro, così per l'equi-

(1) V. *Élémens de Statique, par L. Poinsot*, p. 203.

(2) V. Cavalieri, Rondelet.

librio è mestieri solo tener conto della perpendicolare. Suppongo di più esser le direzioni delle due forze suddette tangenti alla ruota ed al cilindro; perciocchè se fossero in vece seganti risolvendone ciascuna in due, una perpendicolare a'raggi rispettivi della ruota e del cilindro, l'altra nella direzione di essi, si vedrebbe chiaro doversi solo tener conto delle prime nello stabilire le condizioni di equilibrio.

Quando la ruota è verticale e l'asse orizzontale, la macchina suolsi chiamare *burbera*(*Fig.* 19); *argano* poi dicesi se l'asse è verticale(*Fig.* 20). Quando questa macchina è in piccole dimensioni, sia isolata sia facendo parte di altra macchina, prende ordinariamente nelle arti altro nome, come quello di *verrocchio*, *verricello*, ec.

Molte di queste macchine possono unirsi in sistema, ed allora le ruote sono *dentate*; ed i cilindri hanno anch'essi de'denti, *pinne* o *ali*, in guisa che i denti delle ruote s'immettono in quelli de'rocchetti. Molte sono le combinazioni che possono ricevere le ruote dentate, trasmettendosi così il moto dall'una nell'altra: è facile riesce il conoscere le condizioni di equilibrio; perciocchè si comprende la potenza dover stare alla resistenza come il prodotto de'rocchetti a quello de'raggi delle ruote.

Se il peso R discende facendo girare il sistema rappresentato dalla figura 30(*Tav.agg.*), occorre spesso di sapere quanti giri farà l'ultima ruota C nel tempo che la ruota A ne compie uno. Questa cognizione dipende da quella del numero dei denti di ciascuna ruota A, B, e delle *pinne* o *ali* di ciascun rocchetto *b*, *c*. Non si tien conto nè dell'ultima ruota, nè del primo rocchetto, perchè questi non son dentati, o almeno nulla monta che lo siano.

Siano A, B i numeri de'denti delle ruote A, B, e *b*, *c* i numeri delle pinne de'rocchetti *b*,*c*. E mentre la ruota A fa N, giri, supponiamo che il rocchetto *b* con la sua ruota B ne faccia N', ed il rocchetto *c* con la sua ruota C ne faccia N''. È manifesto che quando una ruota ha più denti che non ha pinne il rocchetto contiguo, tanto meno giri farà nello stesso tempo la prima che non fa il secondo. Sarà dunque

$$A: b = N': N;\ e\ B: c = N'': N'$$

e però $AB: bc = N'N'': NN'$; e dividendo l'antecedente ed il conseguente dell'ultima ragione per N', si avrà $N: N'' = bc: AB$. Facciamo che le due ruote abbiano 24 denti per ognuna, e 6 pinne ogni rocchetto, essendo $N = 1$, avremo $1: N'' = 36: 576$, donde si ha $N'' = 16$: cioè mentre la ruota A fa un solo giro, l'altra C ne farà 16.

V.

Del piano inclinato. Questa macchina non ha bisogno di definizione, essendo bene indicata dal nome. Se un corpo si voglia tenere in equilibrio su di un piano inclinato, egli è manifesto da quanto si disse altrove, che converrà vincere la gravità relativa: laonde supponendo la direzione della forza parallela al piano ed applicata al centro di gravità del corpo, e non tenendo conto veruno dell'attrito, si avrà l'equilibrio se la potenza stia al peso del corpo come l'altezza del piano alla lunghezza del medesimo o come il seno dell'angolo di elevazione sta al raggio. Nel caso poi che la direzione della potenza sia inclinata comunque al piano, si hanno alcune formole facili ad intendere col solo aiuto della Trigonometria.

Suppongasi infatti essere OP (*Tav. agg. fig.* 31) la direzione della potenza che chiamo P, ed O*l* quella della gravità che chiamo Q: dicasi *m* l'angolo che il piano fa con la verticale, e *n* quello della OP col medesimo. Supposta O*g* la intensità di P ed *ol* quella di Q, si risolva ciascuna di queste forze in due, una perpendicolare, l'altra parallela al piano. Sarà facile il vedere essere l'angolo $fOg = OBA = n$, e l'angolo $Olk = ABC = m$. Essendo poi nel triangolo rettangolo Ofg, $Og: Of = 1: \cos. fOg$, ovvero $P: Of = 1: \cos. n$, sarà $Of = P \cos. n$; in simil guisa si troverà $Op = Q \cos. m$, e si troveranno anche i valori delle forze perpendicolari al piano espressi da P sen. *n*, e Q. sen. *m*. Queste ultime dovranno esser distrutte dalla resistenza del piano, il quale sarà perciò premuto con forza $= p$ sen. $n +$ Q sen. *m*; ma le prime nel caso di equilibrio dovranno egualmente distruggersi fra loro; dovrà perciò essere $p \cos. n = Q \cos. m$, ovvero $P: Q = \cos. m: \cos. n$. Allorchè OB è parallela ad AC, l'angolo OBC diviene retto, e gli angoli *m* ed *n* sono l'uno complemento dell'altro per cui si avrà $P: Q = \text{sen}. n: \text{sen}. m = BC: AC$: cioè nel caso della potenza operante in direzione orizzontale si avrà l'equilibrio se stia la potenza alla resistenza come l'altezza del piano alla base del medesimo, o come il seno al coseno dell'angolo di elevazione del piano dall'orizzonte.

Se poi si avverasse il caso di OP parallela ad AB, allora l'angolo *n* divenendo zero, sarà $\cos. n = 1$, onde si avrà $P: Q = \cos. m: 1 = \text{sen}. A: 1 = BC: AB$, siccome da prima si è dimostrato.

VI.

Della vite. La teorica del piano inclinato può

servire di guida per la determinazione delle condizioni di equilibrio nella vite; della quale è mestiere formarsi prima una giusta idea.

« Dicesi *elica* o *elice* una curva descritta » sulla superficie di un cilindro retto con in» clinazione costante al lato del cilindro. La » distanza fra due punti consecutivi dell' elice » presi sullo stesso lato, dicesi *passo dell'elice* ».

Sia il cilindro retto ABCD (*Tav. agg. fig.* 31); la sua superficie si consideri sviluppata su di un piano: lo sviluppo sarà un rettangolo BEMC, la cui base BE è eguale in lunghezza alla circonferenza del cilindro e si può esprimere con $2\pi r$, chiamando r il raggio del cilindro e π la ragione del diametro alla circonferenza.

Si divida il lato BC in parti eguali BR, RQ, QP, ec., e presa sopra EM la parte EG=BR, si tiri BG, e le parallele RH, QK, ec.

Se si avvolge il rettangolo BEMC sul cilindro, la serie delle rette BG, RH, ec. segnerà sulla superficie curva del medesimo la curva che si è poco fa definita, la quale cominciando da B andrà a finire in R, dove sarà continuata dalla seconda retta RH e così procedendo innanzi.

Supponiamo il punto a premuto sull' elica da una forza verticale p e rattenuto in pari tempo da una forza orizzontale f che applicata tangente al cilindro vieti ad un cotal punto di scendere per l' elica, si avrà per le cose innanzi discorse $f: p$=HK : QH, ovvero $f: p=h: 2\pi r$.

Si meni per lo punto a la retta orizzontale ao, la quale incontri in o l' asse del cilindro che suppongo fisso. Si prolunghi questa retta indefinitamente, e si consideri come una leva inflessibile che possa rotare intorno al punto o.

In vece di applicare immediatamente al punto a una forza orizzontale f per tener fermo il punto sull' elica, si potrebbe in un punto qualunque della leva bo applicare un' altra forza q parallela ad f, la quale producesse sul punto a quello stesso effetto che la sopraddetta forza f vi avrebbe prodotto, e ciò si otterrebbe col fare che queste forze serbassero la reciproca ragione delle corrispondenti braccia di leva, che sono bo ed ao: posto dunque bo=R, ed essendo $ao=r$, si avrà la giusta sostituzione ponendo

$$q: f=r: \text{R};$$

ma si ha pure

$$f: p=h: 2\pi r:$$

dunque moltiplicando per ordine si avrà

$$q: p=h: 2\pi\text{R};$$

vale a dire, che la potenza orizzontale q starà alla forza verticale p che preme il punto sull' elica, come il passo dell' elica sta alla circonferenza che descriverebbesi dalla potenza q intorno all' asse del cilindro.

Vuolsi intanto prima di procedere oltre, avvertire, che nell' ultima analogia testè ottenuta non entra affatto r, onde la verità esposta ha il suo pieno effetto sia quale si voglia il raggio del cilindro.

« Premesse tali cose, uopo è sapere altro » non essere la vite, che un cilindro retto gner» nito di un risalto avente per asse un elica. » Essa si aggira entro un cilindro stabile che » dicesi *madrevite*, avente un incavo spirale » che corrisponde al risalto della vite. La po» tenza per mezzo di un manubrio tiene in e» quilibrio la vite, gravata nella cima di un » peso, la quale tende a discendere, ravvol» gendosi per le spire della madrevite. »

Talvolta la vite è ferma e la madrevite è mobile, nel qual caso la potenza e la resistenza si applicano alla madrevite. Sia per altro che muovasi l'una o l' altra, le condizioni di equilibrio sono le stesse. Supponiamo, per fissar le idee, che sia mobile la madrevite M (*Tav. agg. fig.* 32). Se la madrevite poggiasse con un sol punto sull' elica della vite, si avrebbe per le cose dette

$$\text{P}: \text{Q}=h: 2\pi\text{R},$$

chiamando R il braccio di leva della potenza e Q il peso.

Ma sia quale si voglia il numero de' punti ne' quali la madrevite preme l' elica della vite, si potrà considerare la resistenza R come decomposta in altrettante forze parallele s, s', s'', ec. prementi in diversi punti e la potenza P distribuita in altrettante forze elementari t, t', t'', ec. ciascuna delle quali si equilibra con ciascuna delle s, s', s'', ec.; onde si avrà

$$t : s = h : 2\pi\text{R}$$
$$t' : s' = h : 2\pi\text{R}$$
$$t'' : s'' - h : 2\pi\text{R}$$

e quindi $t + t' + t''$ ec. ovvero P : $s + s' + s''$ ec. ovvero Q=h: 2πR ; vale a dire, nella vite in equilibrio, la potenza sta alla resistenza, come il passo della vite sta alla periferia che descriverebbesi dalla potenza. Laonde nella vite richiedesi per l' equilibrio tanta minor forza per quanto minore ne è il passo.

Se la diminuzione del passo della vite fa diminuire la forza necessaria all' equilibrio, fa aumentare la pressione della resistenza su i pani. Onde se la potenza riducesi picciolissima, la pressione su i pani si rende quasi eguale

al peso assoluto della resistenza. E però potrebbe succedere che esercitandosi la pressione in pochi punti, il peso essendo notabile, ed i pani non molto resistenti, alla fine questi si rompessero. Giova perciò fare che la madrevite abbia molti giri, e muovasi essa piuttosto che la vite.

Se in vece della madrevite si abbia una ruota dentata girevole intorno al suo asse, entro i denti dei quali scorrano i pani della vite che si fa girare mercè un manubrio, si avrà una macchina detta *vite perpetua*, la quale può considerarsi come composta dell'asse nella ruota e della vite. Si comprenderà facilmente aversi in questa macchina l'equilibrio, se la potenza stia alla resistenza come il prodotto del passo della vite nel raggio del cilindro al prodotto del raggio della ruota nella periferia che ha per raggio la distanza della potenza dell'asse della vite.

Avvertasi finalmente, che taluni fisici considerando la velocità della potenza come espressa dalla periferia che essa descriverebbe, e quella della resistenza dall'ampiezza del passo, qualora si passasse dall'equilibrio al moto, conchiudono la verità di sopra dimostrata per l'equilibrio della vite.

VII.

Del conio. Il conio è un prisma triangolare, che si conficca nella massa di un corpo per separarne le parti. La potenza si applica sulla base del conio, perciocchè d'ordinario il conio s'introduce nel corpo dando de'colpi sulla base.

Supponiamo la direzione della potenza esser perpendicolare alla base o *testa* del conio rappresentato in profilo dalla figura 33 (*Tav.agg.*). Dal punto A preso sulla direzione della potenza, si tirino le AB, AC perpendicolari ad OM ed ON, e presa AD che rappresenti in intensità, e direzione la potenza, si compia il parallelogrammo ABCD; si scorge chiaramente esser la potenza P risoluta nelle due AC, AB le quali dinotano gli sforzi prodotti contro la resistenza, onde si avrà

$$P : Q : R = AD : AB : AC,$$

ovvero

$$P : Q : R = AD : AB : BD,$$

cioè come i tre lati del triangolo ABD, il quale essendo simile all'altro MNO che rappresenta la sezione del conio, si avrà finalmente

$$P : Q : R = MN : MO : NO;$$

vale a dire che la potenza essendo espressa dalla base del conio, le due forze che ne risultano perpendicolari a' lati sono espresse da questi medesimi lati.

Donde apparisce che in pari altezza, quanto più acuto sarà il conio, tanto avrà maggior forza.

VIII.

Dalla combinazione delle macchine semplici delle quali si è parlato finora, nascono molte macchine che diconsi perciò *composte*, nelle quali non riuscirà difficile a conoscere le condizioni di equilibrio, qualora si sappiano quelle delle macchine semplici onde esse risultano; gli esempi della stadera composta, delle ruote dentate, de' sistemi di carrucole di sopra recati possono esser sufficienti ad indicare la maniera di calcolare le condizioni di equilibrio in ogni altra macchina composta.

Non ho parlato della macchina funicolare, perchè la determinazione delle condizioni di equilibrio in questa macchina, con le importanti dottrine che ne dipendono, avrebbe potuto recare qualche difficoltà a' giovani non avvezzi al linguaggio della Meccanica.

Volendo far passare le macchine dall'equilibrio al moto, pare che non si dovesse fare altro che dare un piccol aumento alla potenza stimata capace di mettersi in equilibrio con la resistenza; ma ciò sarebbe vero prescindendo dagli ostacoli che si oppongono al moto delle macchine; per la qual cosa nella pratica si distingue l'equilibrio di una macchina dal suo *stato prossimo al moto*, per rinvenire il quale è mestieri conoscere gli ostacoli da superare e la potenza necessaria a superarli.

CAPO V.

DELL' IDROSTATICA.

55. L'idrostatica ha per obbietto di determinare le condizioni di equilibrio de' liquidi, e le pressioni che questi generano sulle pareti de' vasi che li contengono.

Le proprietà de' liquidi dipendono da due forze: dalla gravità che opera sopra di essi come sopra di ogni altro corpo, e dall'attrazione molecolare che opera su i medesimi in una maniera speciale per tenerli nello stato liquido. Possiamo col pensiere distinguere gli effetti dovuti a ciascuna di coteste forze; perciocchè possiamo figurarci una massa d'acqua la quale cessi per poco di esser grave, ma non di esser liquida: questa abbandonata a se stessa non potrà cadere, nè scorrere allorchè si voglia versarla; ed è chiaro che per tenerla in quiete

non sarebbe necessario poggiarla sul suolo o contenerla in un vase. Ma anche in questo caso essa potrebbe ricevere e trasmettere alcune pressioni, secondo il principio generale che ora ci faremo ad esaminare.

56. *Principio di eguaglianza di pressione.* I liquidi son soggetti al principio di eguaglianza di pressione, vale a dire, che essi hanno la proprietà di trasmettere egualmente e per ogni verso le pressioni che si possono produrre sulla lor superficie.

Questo principio è un assioma in Fisica; ma se non si deve dimostrarlo, è almeno necessario di farlo intendere: *abcd* (*fig.* 70) è un vase che contiene on liquido supposto privo di gravità, *p* è uno stantuffo solido che ne covre esattamente la superficie. Se lo stantuffo sia anche senza gravità, e se non sia carico di alcun peso, egli è chiaro che il liquido non proverà alcuna pressione, e che si potrebbe forare il vase senza che il liquido dovesse scorrere: ma ponendo sullo stantuffo un peso di 100 chilogrammi, per esempio, tosto questo farà uno sforzo per cadere, e cadrebbe di fatti se il liquido non si opponesse. Tanto se il liquido sia compressibile, tanto se non lo sia, il risultamento sarà sempre lo stesso: egli è assolutamente necessario o che si distrugga o che sostenga i cento chilogrammi. La falda superiore *x*, sulla quale si poggia lo stantuffo ne sostiene dunque tulto il peso, e premuta, come lo è, cadrebbe necessariamente se non fosse sostenuta dalla falda *y* che le sta immediatamente sottoposta: essa preme su questa falda con tanta forza per quanto è premuta dallo stantuffo. In simil guisa la falda *y* preme sulla seguente *z*, e continuando la pressione si comunicherà di falda in falda fino al fondo del vase, il quale sarà anche premuto come se lo stantuffo lo premesse immediatamente. Poichè la superficie del fondo soffre la pressione di 100 chilogrammi, egli è chiaro che ogni sua metà ne soffrirà una di 50, e la centesima parte di questa superficie dovrà anche soffrire la centesima parte della pressione totale, cioè di un solo chilogrammo. Quindi

1°. La pressione si trasmette dall'alto in basso sulle superficie orizzontali senza perdere niente di sua forza;

2°. Essa è uguale in tutti i punti;

3°. È proporzionale all'ampiezza della superficie sulla quale si opera.

Lo stesso fenomeno avverasi sopra le superficie laterali: perciocchè se in qualunque punto si facesse un buco, il liquido scapperebbe; e se si tagliasse una parte della superficie, questa sarebbe spinta al di fuori; finalmente se la parte tagliata fosse eguale all'intera larghezza dello stantuffo, non ci vorrebbe meno di 100 chilogrammi per mantenerla in sito; e se questa avesse un'estensione cento volte minore, ci basterebbe lo sforzo di un chilogrammo. Se lo stesso stantuffo fosse bucato, il liquido scapperebbe da basso in alto, il che dimostra che la sua stessa parete è come le altre egualmente premuta. Laonde i liquidi trasmettono per tutti i versi egualmente le pressioni che si possono produrre sulle loro superficie.

Dopo avere inteso questo principio pei liquidi considerati senza gravità, è facile il vedere che esso si applica senza eccezione anche ai liquidi gravi; ma in questo caso vi sono delle pressioni le quali hanno luogo sopra ciascuna molecola e che nascono dalla gravità che loro è propria.

57. *Dell' equilibrio dei liquidi gravi.* Due sono le condizioni necessarie per l'equilibrio dei liquidi: è mestieri da prima che le molecole superiori e libere si dispongano in superficie perpendicolare alla forza che le spinge; ed in secondo luogo che una molecola qualunque della massa soffra da tutte le parti pressioni eguali e contrarie.

Prima condizione di equilibrio. Supponiamo che la superficie non sia perpendicolare alla forza che spinge le molecole liquide, ma che sia, per esempio, nella direzione *abcde*, mentre la forza è diretta secondo le verticali *vv* (*fig.* 71): allora una piccola falda orizzontale come *bd* sarebbe premuta da tutto il peso delle molecole che sono al di sopra di essa; questa pressione, come abbiamo veduto, trasmetterebbesi lateralmente, e la molecola *b* spinta da questa pressione laterale sarebbe mandata fuori, non essendovi alcuna forza che potesse ritenerla; uscendo questa, un'altra verrebbe in suo luogo, e che sarebbe egualmente espulsa a sua posta, e così avverrebbe alle altre fino a che la curvatura *bcd* non siasi depressa e renduta perfettamente orizzontale. Avverrebbe lo stesso di ogni altra parte di liquido che si trovasse al di sopra di un altro punto qualunque della superficie, onde l'equilibrio non può nascere se non quando le molecole libere sian ridotte a non poter più cadere, cioè quando siensi ordinate in una stessa superficie perpendicolare alla forza. Con l'applicazione di questo principio alla superficie del mare, supposto perfettamente tranquillo, agevole riuscirà di formarci un' idea di sua curvatura e delle cause che la producono. Se tutte le direzioni della gravità convenissero esattamente al centro della Terra, e se questa forza fosse la sola che spingesse le molecole liquide, sarebbe

mestieri che in tutti i mari la super ficie libera delle acque prendesse la forma sferica; perciocchè è questa la sola superficie che sia perpendicolare a tutti i raggi che convengono in un punto. Dovrebbe egualmente verificarsi che tutte le rive fossero dal centro della Terra egualmente distanti, perciocchè altrimenti non sarebbero allo stesso livello, e l'acqua più alta cadrebbe sulla più bassa.

Questa condizione necessaria per l'equilibrio delle masse fluide, rende aperto ciò che noi abbiamo detto nel capo primo intorno alla direzione della gravità; è d'uopo che questa forza sia perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, perciocchè essa stessa riduce le acque alla necessità di prender questa direzione.

Quando le molecole liquide sono spinte da qualche altra forza oltre della gravità terrestre, ognun comprende che per aversi l'equilibrio non debbono più costituire una superficie perpendicolare alla gravità solamente, ma sibbene alla risultante della gravità e di tutte le altre forze operanti sulle medesime. Quindi la forza centrifuga che s'ingenera dal moto di rotazione della Terra combinandosi continuamente con la gravità per ispingere tutti i corpi, uopo è che la superficie delle acque dispongasi perpendicolare alla risultante di queste due forze, ed ecco perchè la superficie del mare è depressa verso i poli. Alle falde delle grandi montagne, la massa delle quali è capace di deviare il filo a piombo, la superficie delle acque dovrà essere anche rimossa dalla sua forma regolare; essa s'innalza e s'inclina sulla vera verticale per disporsi perpendicolare alla risultante delle azioni della Terra e del monte. In simil guisa allorchè la luna passa al di sopra o al di sotto dell'orizzonte del mare, la sua forza di attrazione sulle acque si combina con quella di gravità per produrre una risultante che non più è verticale; e però la mobile superficie dell'Oceano cercando un equilibrio che non può trovare a cagion del moto di rotazione della luna, s'innalza e si abbassa successivamente, ed esegue infine le periodiche oscillazioni del flusso e del riflusso. Avvengono nella natura parecchi altri fenomeni i quali sembrano di non avere alcuna analogia colle maree, e pure dipendono da un principio simile: si sa, per esempio, l'acqua non avere una superficie perfettamente piana in un bicchiere comune, ma innalzarsi verso le pareti, nella maniera indicata dalla figura 72. al contrario la superficie del mercurio deprimersi in vicinanza di queste, quasi temendo di toccarle(*fig.* 73). Questo avviene perchè non è la sola gravità in tali casi che opera su i liquidi; altre forze vi sono con essa: la forza di attrazione delle molecole fra loro, e fra queste e la materia del vase. Laonde la superficie del liquido dovrà disporsi perpendicolare alla risultante di queste tre forze, e dalla ragione della intensità delle due ultime nasce la concavità della linea del livello. Vedremo nascere da questo principio tutta quella generazione di *fenomeni capillari*, de' quali dovremo trattare in uno de' seguenti libri.

Seconda condizione di equilibrio. La seconda condizione di equilibrio è chiara da se, perciocchè le molecole che sono entro la massa liquida ricevendo le pressioni di tutte le molecole che giacciono al di sopra di esse, e, in virtù del principio di eguaglianza di pressione, tendendo a trasmettere questa pressione per tutti i versi, segue, che se in due direzioni opposte le pressioni che soffre una molecola non fossero eguali e contrarie, questa moverebbesi per lo verso della pressione maggiore, e la massa liquida non sarebbe in equilibrio.

58. *Pressioni.* Allorchè le masse liquide sono in equilibrio, esercitano sopra di loro stesse e su tutti i corpi solidi che toccano delle pressioni più o meno gagliarde, la misura delle quali ci faremo a determinare, esaminando successivamente le pressioni dall'alto in basso e dal basso in alto che i liquidi esercitano sulle superficie orizzontali, e poi quelle sulle superficie laterali.

1°. La pressione dall'alto in basso che un liquido esercita sul fondo del vase che lo contiene, non dipende punto dalla forma di questo vase, ed è sempre eguale al peso di una colonna dello stesso liquido, la quale abbia per base il fondo del vase e per altezza l'altezza del livello.

La prima parte di questa proposizione dimostrasi facilmente mercè lo strumento del signor Haldat (*fig.* 78). Esso si compone di un tubo ricurvo *abc*, fermato in una cassa *y*, e fatto in modo da poter ricevere in *a* vasi di forme differenti come *d*, *e*, *f*, (*fig.* 79, 80 e 81). Da prima si pone del mercurio nel tubo *abc*, e mercè di un *corsoio* si nota sul braccio *c* l'altezza *n* ove si arresta; allora sull'estremo *a* si adatta a vite il vaso cilindrico *d*; vi si versa entro dell'acqua fino ad una certa altezza *h*, e si osserva l'altezza *p* cui giunge il mercurio nel braccio *c*. L'elevazione *np* della colonna di mercurio è sicuramente l'effetto della pressione che l'acqua contenuta nel vaso *d* esercita sulla superficie del mercurio che ne costituisce il vero fondo. Fatta questa osservazione si vòta il vase per mezzo della chiavetta *r*, e poi si toglie per porre in sua vece il vase slargato *e*,

o quello ristretto *f*. Tostochè si è versata in questi una colonna di acqua alta quanto quella che era nel vase *d*, si vedrà il mercurio salire nel braccio *c* precisamente all' altezza *p*. Dunque la pressione che questi tre vasi differenti soffrono sul fondo, è perfettamente la stessa quante volte sia la stessa l'altezza del liquido; e però la pressione, come poco innanzi dicevamo, non dipende per nulla dalla forma del vase; se il fondo del vase, il liquido e l'altezza sian gli stessi, la stessa sarà anche la pressione; o che il vase sia cilindrico (*fig.* 74), o che comprenda molto liquido (*fig.* 75), o che ne contenga pochissimo (*fig.*76), o che sorga perpendicolare sulla base, o obbliquo (*fig.* 77).

Per dimostrare poi la seconda parte della proposizione, basterà il por mente che nel vase cilindrico (*fig.* 74) il fondo *ab* soffre una pressione perfettamente eguale al peso del liquido, perciocchè le pressioni esercitate contro le pareti essendo orizzontali, non possono in alcun modo sostenere il peso del liquido, e neppure aumentarlo o diminuirlo. Ora i vasi obbliqui slargati o ristretti ricevendo su i loro fondi la stessa pressione del vase cilindrico, ne segue la pressione in questi non essere eguale al peso del liquido che contengono, ma bensì a quello di una colonna liquida avente per base il fondo del vase, e per altezza l' altezza di livello, come se il vase fosse cilindrico.

Tutte le porzioni del fondo essendo egualmente premute, segue, che se invece di considerare il fondo in tutta la sua ampiezza, se ne considerasse solo una parte, come la metà, il terzo, il quarto, la pressione sofferta da questa sarà la metà, la terza, o la quarta parte della pressione totale. Se generalmente dicasi *s* la porzione del fondo presa in considerazione, *a* l'altezza di livello, e *d* la densità del liquido, la pressione sulla superficie *s* sarà espressa da *ads*; perciocchè *as* è il volume della colonna liquida, e per avere il peso uopo è moltiplicare il volume per la densità.

Quindi apparisce, con un litro di acqua che pesa un chilogrammo, potersi egualmente una pressione picciolissima o grandissima produrre. Affinchè la pressione sia, per esempio, di un chilogrammo, basterà prendere un vase cilindrico di qualunque base; la intera pressione sarà sempre eguale al peso del liquido, e però di un chilogrammo: solo la pressione sopra ogni centimetro quadrato del fondo sarà minore o maggiore secondo che il vase sarà più largo o più stretto.

Acciocchè la pressione sia di $\frac{1}{10}$ di chilogrammo, basterà prendere un vase, il fondo del quale sia, per esempio, di un decimetro quadrato, ma slargato in guisa che il litro d'acqua vi prenda un' altezza di $\frac{1}{10}$ di decimetro, ossia di un centimetro.

Se si voglia che la pressione sia di 10 chilogrammi, si dovrà prendere un vase, il cui fondo, per esempio, sia di un decimetro quadrato, ma ristretto in guisa che il litro d' acqua vi prenda un' altezza di 10 decimetri, ossia di un metro.

Con lo stesso peso di un chilogrammo sarebbe del pari facilissima cosa il produrre una pressione di $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, ec. di chilogrammo, o una pressione di 100, 1000 ec. chilogrammi.

Le pressioni poi non avvengono solo su i fondi de' vasi, ma in tutti i punti entro le masse liquide, e si trasmettono per ogni verso, in virtù del principio di eguaglianza di pressione: in fatti, entro la massa liquida figuriamoci una sezione *mp* (*fig.* 82) che sia parallela alla superficie di livello *nv*; tutte le molecole componenti questa sezione convien che sian premute da tutto ciò che è al di sopra di loro, onde trovansi come se fossero premute da uno stantuffo di un peso eguale a quello del cilindro liquido *nvmp*: se non che questa pressione che prova dall'alto in basso, si trasmette dal basso in alto, per lo principio di eguaglianza di pressione, ed ogni sua molecola trovasi in equilibrio per la simultaneità di coteste contrarie pressioni. Onde considerando solo una parte *ab* di questa sezione, è mestieri avvertire che la superficie *ab* è nello stesso tempo premuta da sopra in sotto dalla colonna liquida *dabc*, e da sotto in sopra da una forza eguale; in guisa che se un cilindro solido fosse immerso nell' acqua, e con la base si appoggiasse sulla superficie *ab*, questa pressione di sotto in sopra spingerebbe in alto il cilindro.

Questo risultamento del raziocinio è confermato dalla seguente esperienza: *v* (*fig.* 83 *e* 84) è un tubo di vetro di pareti alquanto grosse bene spianate dalla parte inferiore: *t* è un disco anche di vetro privato del pulimento, e perfettamente piano, che dicesi *otturatore*; questo è legato ad un filo che passa per entro al tubo, in modo che tirando questo filo, l' otturatore va a chiudere il tubo: così chiuso, s'immerge nell' acqua. Allora non è più necessario di tirare il filo per impedire la caduta dell' otturatore, perciocchè esso è spinto in su dalla pressione che il liquido esercita dal basso in alto sulla sua superficie, e questa pressione è eguale a quella che soffrirebbe dall' alto in

basso se fosse solo immerso nel liquido alla stessa profondità. E volendo di ciò restar pienamente persuasi, si versi dell'acqua nel tubo: secondo che l'interno livello si avvicina all'esterno *n*, l'*otturatore* sarà spinto dall'alto in basso con altrettanta forza che era respinto dal basso in alto, e finalmente si vedrà per lo proprio peso cadere

Segue da ciò, che se si facesse un buco nel fondo di una barca, l'acqua tosto sgorgherebbe, e per impedire che essa si cacciasse entro la barca, sarebbe mestieri porre in opera una pressione che fosse eguale al peso di una colonna di acqua avente per base l'apertura del buco e per altezza la profondità della barca al di sotto del livello. E però nei grandi vascelli la chiglia deve essere dotata di gran forza per poter resistere alle pressioni che da sotto in sopra produconsi sul fondo del vascello. Se questo fondo fosse orizzontale ed avesse per esempio cento metri quadrati di superficie, la pressione sarebbe eguale a centomila chilogrammi se la nave fosse immersa ad un metro di profondità, ed a trecentomila chilogrammi se si trovasse immersa per tre metri. Da ciò agevole riesce l'intendere le grandi pressioni che si esercitano nei laghi e nei mari, e quelle che soffronsi da tutti gli elementi chimici che ivi si trovano, e da tutti i corpi viventi che ne popolano le profondità. Ritorneremo su questo soggetto nel seguente capo.

2.° La pressione che soffre una parete laterale è uguale al peso di una colonna liquida, che avrebbe per altezza verticale la profondità del centro di gravità della parete al di sotto del livello, e per base orizzontale una superficie eguale alla parete stessa.

Le pressioni laterali si deducono dalle corrispondenti pressioni orizzontali, mercè il principio di eguaglianza di pressione; il punto *m* (*fig.* 82) facendo parte della sezione orizzontale *mp*, questa le trasmette la pressione che soffre essa stessa; siccome la trasmette in tutti i versi, perciò il punto *m* la riceve nella direzione perpendicolare alla parete della quale fa parte. In tal guisa ogni estensione di una parete laterale soffre la stessa pressione di una egual superficie della corrispondente sezione orizzontale, vale a dire *ads* rappresenta anche le pressioni laterali: la superficie *s* però deve in questo caso estendersi pochissimo in altezza, acciocchè la pressione sia sensibilmente eguale in tutt'i suoi punti (1). In un tino di acqua alto 10 metri, la pressione sopra di un centimetro quadrato della parete è dunque di 100 grammi alla profondità di un metro, e di 200 a 2 metri, e di un chilogrammo a 10 metri cioè al fondo.

Per ottenere la somma delle pressioni laterali che soffre una parete di figura piana, sia triangolare, poligona, o di qualunque altra maniera, egli è chiaro che conviene trovare la risultante di un sistema di forze parallele crescenti in ragione della profondità e della estensione orizzontale della porzione della parete che si prende in considerazione. Mercè questa composizione di forze, si perviene al teorema generale che abbiamo enunciato intorno alle pressioni laterali (2).

59. *Pressioni estimate per numeri.* — La pressione operata sopra una superficie è sempre un peso, siccome abbiam veduto; ciò non di meno spesso le pressioni sogliono indicare per mezzo di altezze di colonne liquide, il che può farsi senza alcun inconveniente qualora s'hanno a paragonare due diverse pressioni: sul fondo di un vaso in cui sian 10 metri di acqua la pressione è 10 volte maggiore che sopra il fondo di un altro vase in cui vi sia un metro dello stesso liquido. Qui non è mestieri di fare

(1) Perciocchè a rigor matematico *s* in questo caso dovrebbe esprimere la somma dei punti costituenti una linea.

(2) Nel sup. 2°, §. 11, si è dimostrato che il momento della risultante di un sistema qualunque di forze parallele operanti per lo medesimo verso è eguale alla somma dei momenti delle componenti riferiti ad uno stesso piano, se tutte le componenti sieno dalla medesima parte del piano. Da ciò segue un'altra verità, cioè, che il momento della somma di tutti i pesi costituenti un sistema applicato al centro di gravità del sistema, è eguale alla somma dei momenti dei pesi medesimi, riferiti allo stesso piano supposto al di là di tutti questi corpi costituenti il sistema. Premesse tali verità, possiamo valutare la pressione contro una parete di figura piana. Si è veduto la pressione contro una qualunque porzione infinitesima *s* della parete, essere espressa da *a* ⅄ *sd*; ma questa espressione può risguardarsi come il momento del peso *ds* riferito al piano di livello del liquido; dunque la somma delle pressioni su tutti gli elementi infinitesimi delle pareti e del fondo, si potrà riguardare come la somma de' momenti di tutti i loro pesi riferiti al piano di livello. La quale somma essendo eguale al momento della somma di tutt'i detti pesi riuniti nel centro di gravità della parete o del fondo, riferiti al piano medesimo, se ne inferirà, la somma di tutte queste pressioni, o la pressione totale sofferta dal fondo o da una parete, essere eguale al peso di un prisma di liquido che abbia per base la superficie del fondo o della parete e per altezza la distanza del suo centro di gravità dal livello del liquido.

Misurata dunque per la geometria la superficie della parete o del fondo, e moltiplicatala per la gravità specifica del liquido e per la distanza del centro di gravità dalla superficie di livello, si avrà la pressione cercata:

alcun computo per paragonare tali pressioni. Ma la cosa è ben diversa quando la pressione essendo data in colonna liquida si abbia a trasformarla in peso affinchè si esprima in modo assoluto; allora vi ha diverse unità, cioè unità di lunghezza ed unità di peso, sulla scelta delle quali conviene di non ingannarsi. Eccovi un esempio: quale è la pressione che soffre una superficie gravata da una colonna di acqua di $2^m, 80$ di altezza? È mestieri rammentarsi prima di tutto che una pressiono deve sempre essere essenzialmente considerata per rispetto all' unità di superficie; e però la quistione è incompiuta; è forza dunque aggiungere che la pressione che si domanda è quella che corrisponde ad ogni centimetro quadrato. Allora la soluzione è possibile, ed in ogni caso la cercata pressione è eguale al peso della colonna liquida che ha per base l'unità di superficie e per l'altezza quella della colonna. Questo peso poi si determina prendendo il volume e moltiplicandolo per lo peso dell' unità di volume; si avrà dunque

1.° Per lo centimetro

$$1 \times 280 \times 0^{Kil},001 = 0^K,280$$

2.° Per lo decimetro

$$1 \times 280 \times 1^{Kil} = 28^K$$

3.° Per lo metro

$$1 \times 2,8 \times 1^K = 2800^K$$

scegliendo sempre per esprimere l'altezza la stessa unità che si adopera per esprimere la base, cioè il centimetro nel primo caso, il decimetro nel secondo ed il metro nel terzo.

Avrebbesi potuto prendere per unità di peso il grammo nel primo caso, e la tonnellata nel terzo, ma è meglio adoperare una sola unità.

Per contro, una superficie soffre una pressione di $7^K,6$ per ogni centimetro quadrato; questa pressione è generata da una colonna di acqua, quale è l'altezza di questa colonna? Sia x tale altezza, essa sarà espressa in centimetri perchè questa è l'unità della base, e però si avrà

$$1 \times x \times 0^K,001 = 7^K,6 \text{ d'onde } x = 7600^{co}$$

ossia 76 metri. Qui è forza esprimere in chilogrammi il peso del centimetro cubico o dell' unità di volume, o di trasformare il peso dato di $7^K,6$.

Altro esempio. Una superficie è premuta da una colonna di mercurio di $0^m,58$, quale è la pressione ch'essa soffre per ogni centimetro quadrato, la densità del mercurio essendo di 13,598 per rispetto a quella dell' acqua?

L'unità di superficie per la base essendo il centimetro, si prenderà anche il centimetro per l'altezza la quale sarà 58: l'unità di volume sarà perciò il centimetro cubico il quale per l'acqua pesa $0^K,001$ e pel mercurio

$$0^K,001 \times 13,598;$$

onde sopra un centimetro quadrato la pressione domandata sarà

$$1 \times 58 \times 0^K,001 \times 13,598 = 0^K,780.$$

E per contro una superficie di 25 centimetri quadrati vi ha una pressione di 56^K operata da una colonna di mercurio, quale è l'altezza di questa colonna? Sia x quest'altezza la quale sarà erpressa in centimetri siccome la base, onde si avrà

$$25 \times x \times 0,001 \times 13.598 = 50 \ldots x = 147^{ce}.$$

Terzo esempio. Si ha una superficie s la quale è premuta da una colonna liquida di altezza h e di densità d, il peso dell' unità di volume dell' acqua essendo ϖ, e con p si esprima la pressione totale sopportata dalla superficie s; allora si ha

$$p = s \times h. \times \varpi \times d.$$

ϖ essendo sempre dato basterà conoscere tre delle altre quattro quantità p, s, h, d per trovare la quarta. Solo bisogna por mente a prendere la stessa unità di lunghezza per esprimere s ed h, supponendo che queste due quantità siano date; per rispetto al valore di ϖ questo ricavasi dall' unità di lunghezza che si è scelta: prendendo il chilogrammo per unità di peso si ha $\varpi = 0^K,001$, o $\varpi = 1^K$, o $\varpi = 1000^K$ secondo che la unità di lunghezza è il centimetro, il decimetro o il metro. La densità d è sempre un numero attratto.

La pressione che soffre l'unità di superficie è la pressione totale p divisa per la superficie s, ovvero

$$\frac{p}{s} = h. \varpi. d$$

Tale è la formola generale di cui conviene giovarsi per simili trasformazioni quando la pressione data o cercata si trova riferita all'unità di superficie.

60. *Centro di pressione.* Il punto di applicazione della risultante di tutte le pressioni elementari dicesi *centro di pressione*; esso è sempre al di sotto del centro di gravità, perciocchè questo coinciderebbe con quello se le forze non crescessero procedendo dalla superficie di livello insino al fondo. In una parete che abbia la figura di un parallelogrammo, il centro di pressione sta sulla linea che divide

per metà i lati orizzontali ad $\frac{1}{3}$ al di sopra del fondo. In una parete triangolare la cui base sia al fondo, il centro di pressione sta ad $\frac{1}{4}$ di una linea analoga alla precedente, e alla metà poi se la base sia alla superficie di livello (1).

61. *Vasi comunicanti.* Allorchè molti vasi sono tra loro in comunicazione, sia qualunque il numero e la forma dei medesimi, i liquidi che essi contengono sono, per l'equilibrio, soggetti alle due condizioni da noi antecedentemente stabilite. Laonde quando tutti i vasi son pieni dello stesso liquido, conviene per la prima condizione che le superficie sian di *livello*, e per la seconda che sian tutte allo *stesso livello*; perciocchè senza di ciò gli strati di livello dell'interno della massa non sarebbero egualmente premuti in tutta la loro estensione. Ed in vero, nel vaso (*fig.* 85 *e* 86) se il livello del braccio grande fosse per esempio in *ab*, invece di essere in *n* sulla stessa linea orizzontale *nc*, la sezione di livello *mp* non sarebbe egualmente premuta in *m* ed in *p*; e non si avrebbe l'equilibrio; percioechè una sezione di livello qualunque dovrà sempre essere ugualmente premuta in tutta la sua estensione.

Se i liquidi poi sian diversi, le superficie avranno differente livello.

Nel vase espresso dalla figura 87, il braccio grande contiene dell'acqua ed il picciolo del mercurio: i liquidi si toccano in *g*, per dove si meni l'orizzontale *gf*; se le sezioni *g* ed *f* non avesser nulla al di sopra di esse, si avrebbe l'equilibrio: quindi per l'equilibrio conviene che sopra ciascun punto di loro superficie siano ugualmente premute l'una dall'acqua e l'altra dal mercurio. Or l'unità di superficie della sezione *g* soffre una pressione $1.\ h.\ \pi.\ d;$ dinotando con *h* l'altezza dell'acqua al di sopra di *g*, con π il peso dell'unità di volume del liquido per rispetto al quale son prese le densità, e per *d* la densità dell'acqua: similmente l'unità di superficie della sezione *f* del braccio picciolo soffre una pressione $1.\ h'.\ \pi.\ d'$; esprimendo con *h'* l'altezza del liquido al di sopra di *f* e con *d* la sua densità; si avrà dunque

$1.\ h.\ \pi.\ d = 1.\ h'.\ \pi.\ d'$, d'onde $hd = h'd'$,

cioè che le altezze verticali *h* ed *h'* dei due liquidi al di sopra della linea *gf* di unione sono tra loro in ragione inversa delle densità dei liquidi. L'unione delle superficie potrebbe non essere in una linea orizzontale, come per esempio se si versasse molt'acqua nel vase affin di spingere la colonna di mercurio fino ad *si*; ma in questo caso si comprende, che se le pressioni laterali sono le stesse da ciascuna parte su le molecole che sono al centro e nell'asse del tubo, in quest'azione esse più non possono esserlo per le molecole che sono o al disopra o al disotto. Alla parte superiore in *s* la pressione dell'acqua la vince; al contrario la vince il mercurio alla parte inferiore *i*: la superficie di unione tende a prender la figura *si*, e l'acqua finalmente passa nel braccio picciolo e il mercurio nel grande sino a che non si abbia un altro equilibrio.

Ne' tubi che hanno un'apertura minore d'una linea, questo effetto non producesi: le colonne son troppo piccole per *dividersi*, l'attrazione delle molecole di ciascun liquido basta per resistere all'ineguaglianza di pressione che si ha tra le parti superiori e le inferiori (2).

62. *Del livello del mare.* — I principii dell'Idrostatica non si applicano solamente a' tubi ed a' piccoli vasi su i quali possiam fare delle sperienze, ma egualmente a tutt'i liquidi che sono in natura.

Le acque che empiono le profondità de' mari son livellate; ed hanno intorno al globo terrestre una figura permanente per effetto degli antecedenti principii. Che se sono dalle tempeste sollevate, ritornano per le leggi dell'equilibrio ne' limiti ad esse assegnati.

Se la Terra fosse immobile, e composta di strati omogenei, la superficie de' mari sarebbe perfettamente sferica; i viaggiatori che passano sotto l'equatore, quelli che percorrono incognite spiagge nell'uno o nell'altro emisfero, e quelli che visitano le coste della Groenlandia, ed anche i mari più vicini al polo, sarebbero tutti in pari tempo egualmente lontani dal centro della Terra; e ciò seguirebbe per le

(1) Il centro di pressione delle diverse figure si trova per mezzo del calcolo, per cui non si può qui aggiungere altro.

(2) In due tubi o vasi comunicanti di diverso diametro, purchè uno di essi non sia capillare, posto un liquido, questo prenderà la stessa altezza in ambo i tubi, e quindi una massa grandissima di acqua può stare in equilibrio con una massa piccolissima, onde si può con tenuissima quantità di liquido produrre una gran pressione. Infatti, dalle dottrine esposte dall'Autore segue, che se un vase abbia un collo stretto, ma assai lungo, e venga pieno di liquido, si produrrà sul fondo una pressione di gran lunga maggiore del peso del liquido. I fisici, per dimostrare coll'esperienza questo, così detto, *paradosso idrostatico*, introducono, per mezzo di un lungo tubo, dell'acqua in un mantice molto resistente, ed osservano che, mantenendosi pieno il tubo, l'acqua esercita sul fondo e sulle pareti sì forte pressione, che solleva dei pesi posti sul mantice.

leggi idrostatiche o per la struttura delle parti solide del globo, le quali presentano alla superficie delle insensibili prominenze. Le grandi ineguaglianze nelle parti solide turberebbero la sfericità delle superficie liquide: se la catena delle Cordigliere fosse solo cento volte più alta, le acque salirebbero verso le coste dell'America, tanto dalla parte di Oriente, quanto da quella di Occidente; si abbasserebbero al contrario verso le opposte spiagge, ed i porti di Francia egualmente che quelli del Giappone sarebbero in secco.

Se la Terra fosse immobile ed all'esterno composta di parti di variissima densità, se per esempio al di sotto dell'Oceano tra la crosta che ne fa il fondo ed il centro della Terra si trovassero immense caverne vôte o piene di materie pochissimo dense, è facile l'intendere dover essere sulle acque dell'Oceano la gravità molto meno intensa che sugli altri mari, e la superficie generale delle acque, invece di essere sferica, dove depressa e dove elevata dover riuscire. Laonde la sola eterogeneità di sostanze potrebbe per se stessa produrre una irregolarità di forma; e se a questa causa l'altra si unisca della efficacia della forza centrifuga, si vedrà la quistione più intrigata dover diventare. Nella ignoranza nella quale siamo intorno alla composizione dell'interno del globo, di cui con tutt'i nostri mezzi non ne possiamo esplorare che una crosta di pochissima profondità, impossibile assolutamente ci riesce per ora di conoscere quale sia nello stato di quiete la vera curvatura della superficie delle acque. Per tale ragione si è tentato di determinarla mercè di livellazioni dirette, ed ecco quali risultamenti sonosi sul proposito ottenuti.

Il livello del mar Rosso è più alto di quello del Mediterraneo di 9^m, 9 nell'alta marea, e di 8^m, 12 nella bassa. Questa differenza fu conosciuta durante la spedizione di Egitto da una commissione d'ingegneri diretti dal signor Le Père.

Il mare Mediterraneo a Barcellona e l'Oceano a Dunkerque sono quasi perfettamente allo stesso livello, secondo le osservazioni di Delambre.

Il mare del Sud a Callao sembra di 7^m più elevato dell'Oceano a Cartagena, secondo le misure barometriche del signor di Humboldt.

63. Il miscuglio delle acque de'fiumi con quelle del mare presenta anche qualche notabile fenomeno d'idrostatica. L'acqua dolce come più leggiera deve restarsene alla superficie, mentre l'acqua salsa più grave deve andar sotto. E questo infatti è stato osservato dal signor Stevenson nel 1816 nel porto di Aberdeen, alla imboccatura del Dea, ed anche a quella del Tamigi presso Londra e Wolwich. Attignendo l'acqua da varie profondità con uno strumento all'uopo ideato, il signor Stevenson trovò che ad una certa distanza dalla imboccatura l'acqua è dolce a qualunque profondità, anche in tempo dell'alta marea; ma che avvicinandosi un poco più verso la foce, cioè verso il mare, si trova acqua dolce sopra ed acqua salsa verso il fondo o letto del fiume. Secondo queste osservazioni, tra Londra e Wolwich pel Tamigi comincia a rendersi sensibile la salsedine verso il fondo. Onde al di sotto di Wolwich questo fiume invece di scorrere sopra un letto solido, scorre sopra un letto liquido formato dall'acqua marina, con la quale sicuramente più o meno si mescola. Frattanto il signor Stevenson crede che in tempo dell'alta marea le acque dolci siano innalzate, per dir così, *in un sol pezzo* dalle acque salse che affluiscono ed ascendono nel letto del fiume, mentre l'acqua dolce continua a scorrere verso il mare.

Queste esperienze par che confermino l'opinione che Franklin manifestava sul proposito nell'anno 1761. « Se qualche fiume, diceva costui, entri in un lago senza che questo trabocchi, ciò avviene perchè le acque si spaziano in una superficie sì ampia, che lo svaporamento toglie una massa di acqua quasi eguale a quella che vi affluisce; ma sonovi de'fiumi i quali per la estensione del loro corso e per l'ampiezza della foce possono assimilarsi ad un lago ». Ma affinchè la similitudine fosse perfetta, uopo sarebbe che una diga arrestasse la corrente delle acque vietando alle medesime di entrar nel mare: si avrebbero in tal caso secondo le stagioni alcune differenze di livello, ma in generale comprendesi queste differenze in certi casi potersi ridurre fra limiti molto ristretti. Quantunque la comunicazione tra il fiume ed il mare sia aperta, pure si può supporre trovarsi la diga della quale parliamo nella superficie di unione tra l'acqua dolce e l'acqua salsa: se non che questa diga sarà mobile, e salirà per un certo numero di leghe in tempo dell'alta marea, e poi scenderà di nuovo, variando l'ampiezza delle *escursioni* col variare della quantità dell'acqua. In alcuni casi l'acqua del mare e quella del fiume si mescolano nell'incontrarsi e per uno spazio più o men grande, per lo doppio effetto del loro moto e della differenza della gravità specifica; ma ad una certa distanza dalla foce, l'acqua dolce portata dalla corrente e respinta dalla marea oscillerà presso a poco fra gli stessi limiti senza giunger mai nel mare. Gl'ignoranti crederanno che le acque cadano e si perdano in qualche cavità sotterranea, mentre esse veramente si sperdono per l'aria.

CAPO VI.

DELL' EQUILIBRIO DE' GAS E DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA.

64. L'aria è un corpo che non cade immediatamente sotto i nostri sensi, come i corpi solidi o liquidi; ma ci si mostra mercè di tanti fenomeni che avvengono sulla Terra e sulle acque, per modo che non abbiam bisogno di andar cercando altre pruove di sua esistenza. Accadono uragani in ogni clima, ed in ogni mare sorgon tempeste; quindi il fluido aereo cinge tutta la superficie del globo, innalzandosi fino ad una considerabile altezza: il che si rende aperto dal vedere in tutti i luoghi su i monti e sulle pianure galleggiar le nubi portate dal vento, e al di sopra di queste nubi vedesi il brillante azzurro del cielo il quale addimostra l'altezza dell'aria, siccome il colore dell'Oceano indica la profondità dell' acqua. Se non vi fosse aria, il cielo sarebbe privo di luce e di colore; esso ci apparirebbe come una volta perfettamente nera, e gli astri si vedrebbero in pien merigio scintillare come di notte. Questa gran massa d'aria sparsa intorno alla Terra, i cui strati sovrapposti l' uno sull' altro si estolgono al di sopra delle più alte montagne, è ciò che dicesi *atmosfera*. La più alta cima dell'Himalaya s'innalza solo per due leghe dal livello del mare, e noi vedremo l' atmosfera innalzarsi per più di dodici o quindici leghe.

Le scoperte chimiche del passato secolo ci han fatto conoscere parecchi corpi diversi per natura dall'aria, ma simili per la trasparenza, per la fludità e per tutte le loro proprietà fisiche. Cotesti corpi ebbero vario nome: furon da prima chiamati *arie*; e quindi sentivasi *aria mefitica*, *aria infiammabile*, *aria epatica*, *aria fissa*, *aria flogisticata*, *deflogisticata*, ec. Ora tutti questi corpi son detti, *gas*, *corpi gassosi* o *fluidi elastici*.

65. I gas sono soggetti a due generazioni di forze, come i solidi ed i liquidi, cioè alla forza di gravità ed alle forze molecolari.

66. La gravità dell'aria, la quale fu supposta anche prima di Aristotele, non fu veramente dimostrata che nel 1640 dal Galileo, e poco dopo confermata dalle belle sperienze del Torricelli e da quelle più chiare di Pascal. Questa fondamentale verità puossi per la seguente sperienza direttamente dimostrare: si estrae l'aria da una grossa sfera per mezzo della macchina pneumatica, si sospende ad un braccio di bilancia, e si equilibra con pesi posti dall'altra parte. Se ciò fatto si apra per un momento la chiavetta per far entrar nella sfera un poco d'aria, immantinente l'equilibrio sarà distrutto, e la bilancia preponderérà dalla parte della sfera, in guisa che sarà necessario di porre nuovi pesi nell'opposta coppa; se la chiavetta per un altro momento si riaprirà, si vedrà un nuovo aumento di peso; e se infine si lasci entrare l'aria interamente, si vedrà che per riaver l' equilibrio sarà forza di aggiungere un peso sensibilissimo. Per una sfera di 19 litri la differenza dei pesi è di oltre 10 grammi, il che dimostra per una prima approssimazione che un litro d'aria ordinariamente pesa poco più di un grammo, vale a dire l' acqua non è mille volte più pesante dell' aria comune a Parigi.

67. Le forze molecolari non operano nei gas come nei solidi e ne' liquidi.

Noi abbiam veduto queste forze tener le molecole de'solidi fortemente strette le une sulle altre, e fermate al proprio luogo; tener poi del pari le molecole dei liquidi, in maniera da restare ad esse una libertà di potersi muovere per ogni verso; ma ne'gas le forze molecolari son ripulsive, e tutte le molecole ubbidienti all' azione di questa forza, tendono a scostarsi le une dalle altre e si scostan di fatti fino a che non incontrano un ostacolo che le trattenga. Laonde l' aria chiusa in un vase fa uno sforzo contro le pareti del medesimo per espandersi, e però o esse debbono scoppiare o debbono esser forti a segno da poter resistere a questo sforzo. Una tal conseguenza sembra contraria alla esperienza, perciocchè se fosse vero che l'aria chiusa facesse cotesta forza contro le pareti del vase, sarebbe mestieri che quest' aria scappasse per ogni minimo buco, e con più salda ragione uscir dovrebbe con forza nell' aprire il vase, o anche prima che si abbia il tempo di chiuderlo. Donde ne conseguirebbe doversi tutt'i vasi trovar vôti di aria, mentre ognun sa essere invece tutti pieni, a meno che non siasi in essi versata acqua o altro liquido che ne abbia occupato il luogo. Per dileguare questa difficoltà, figuriamoci un vase di un litro, per esempio, di capacità, ed ermeticamente chiuso: se questo fosse vôto e vi si facesse un buco, l'aria esterna sul momento si precipiterebbe per empirlo; se all' opposto il vase fosse pieno e di fuori non vi fosse aria, perforandone le pareti l' aria di dentro scapperebbe tosto: ma trovandosi aria di dentro e di fuori, con quanta forza quella di fuori tende a cacciarsi nel vase, con altrettanta quella di dentro cerca di uscire, e fra queste eguali pressioni producesi l' equilibrio ne' punti ove il vase è aperto egualmente che in quelli ove è chiuso dalle pareti. È dunque l' aria esterna

che alla forza ripulsiva dell'aria interna si oppone.

Cotesto equilibrio di pressioni essendo degno di esser notato, gioverà dimostrarlo con una esperienza diretta. Sotto al recipiente della macchina pneumatica, si ponga una vescica piena per metà di aria, col dar moto agli stantuffi si vedrà la vescica a mano mano gonfiarsi, finchè prenda tutto il volume del quale è capace; essa si gonfierà come se uno vi soffiasse entro con forza. Si comprende dunque che l'aria interna fa forza contro le pareti per rimuoverle, e le rimuoverà veramente se per mezzo della macchina si tolga l'aria del recipiente la quale opponevasi a cotesta forza. In vece della vescica avrebbe potuto mettersi sotto al recipiente un vase di vetro sottilissimo chiuso da un turacciolo: col fare il vôto sarebbesi veduto saltare il turacciolo ovvero creparsi il vase. Questa pressione che l'aria esercita contro le pareti de'vasi che la contengono, dicesi l'*elasticità*, la *forza elastica*, ed anche la *tensione* di essa.

Una molla addimostrasi elastica solo quando è compressa; e perde la sua tensione, tostochè si è ridotta alla sua forma primitiva; ma l'aria è sempre in istato di tensione attuale; non avvi per essa un volume primitivo, perciocchè tende sempre ad occupare uno spazio maggiore. Un litro d'aria comune introdotto in uno spazio vôto di molte migliaia di metri cubici, si spanderebbe in guisa da occuparlo tutto, e premerebbe le pareti per ogni verso facendo forza per espandersi di più. Di ciò si comprende l'importanza di studiare gli effetti dell'aria atmosferica, perciocchè la sua sola presenza è una forza operosa in tutti i fenomeni che osserviamo.

68. *Condizioni di equilibrio dell'aria.* — Per l'equilibrio de' gas una sola condizione richiedesi, cioè che la lor forza elastica sia la stessa in tutta l'estensione di uno strato di livello. Questa condizione è analoga alla seconda condizione di equilibrio de'liquidi (§ 64), e deducesi da'medesimi principii, vale a dire dalla mobilità delle molecole e dall'azione che la gravità esercita sopra di esse. In un vase qualunque (*fig.* 89) tutti i punti della sezione orizzontale *cd* convien che abbiano la stessa elasticità; perciocchè la forza ripulsiva delle molecole che sono in *b* deve opporsi a quella delle molecole che sono in *b'*; e tali forze non potranno mettersi in equilibrio se non siano eguali in tutti i punti della sezione orizzontale *cd*. Lo stesso ragionamento avrà luogo per tutte le altre sezioni di livello considerate al di sopra o al di sotto di *cd*, ma facilmente comprendesi essere la sezione *mp*, per esempio, premuta più di *cd*; perciocchè quella soffre tutta la pressione che si opera in *cd* ad essa comunicata per lo principio di eguaglianza di pressione, ed oltre a ciò tutto il peso della colonna d'aria *cdmp*, la quale preme sopra *mp* come una colonna d'acqua sul fondo di un vase.

Le condizioni della stabilità e dell'instabilità dell'equilibrio sono del pari le stesse che quelle de'liquidi, e per le ragioni medesime; l'equilibrio è stabile quando la densità dell'aria inferiore è maggiore di quella dell'aria superiore, ed è instabile quando accade il contrario. Ma l'equilibrio instabile, quantunque matematicamente possibile, non l'è mai fisicamente, a cagione della grande mobilità delle molecole de' gas.

Questa legge dell'equilibrio dell'aria è generale per tutte le masse gassose, grandi o piccole ch'esse siano; essa vale per l'aria contenuta in un grande edificio, egualmente che per quella compresa in piccol vase; essa si applica a tutta la colonna di aria atmosferica che si poggia sopra un' ampia pianura, e finalmente all'intera massa dell' aria costituente l' atmosfera. Allorchè ad una qualunque altezza, come per esempio a quella del monte Bianco, si consideri uno strato atmosferico che cinge la Terra parallelamente alla superficie delle acque, sarà mestieri per l'equilibrio che tutt' i punti di questo strato soffrano la stessa pressione tanto a Parigi quanto agli antipodi, tanto al di sopra della Terra ferma quanto del mare, e nelle regioni polari egualmente che nelle equatoriali. Un secondo strato parallelo a questo, ma posto per cento metri al di sotto, dovrebbe per la stessa ragione esser egualmente premuto in tutt' i suoi punti; ma tutti questi sarebbero premuti di più di quelli del primo strato, per quanto è l'intero peso della colonna di aria di cento metri che sta sopra di essi. Onde ad eguali altezze le pressioni saranno eguali; ma coll'ascendere in alto la pressione dovrà scemare. La necessità di una pressione uniforme in una sì grande estensione ci fa ben intendere che nell'oceano aereo un perfetto equilibrio è impossibile. Una calma generale è incompatibile con sì grande mobilità, perciocchè un sol punto ch' è mosso mette in agitazione la massa intera.

I gas non possono mai come i liquidi avere una superficie libera sulla quale non si operi alcuna pressione, perciocchè abbiam veduto esser necessario un ostacolo per impedir la loro forza di espansione la quale è indefinita. Da quanto abbiam detto, taluno potrebbe inferire, non esser l'atmosfera terminata all'al-

tezza di dodici o quindici leghe, siccome si suole generalmente dire, perciocchè a questo limite le molecole dell'aria spinte dalla lor forza elastica, non trovando alcun ostacolo che potesse contenerle, dovrebbero diffondersi sempre più nel vòto fino ad occupare tutto l'immenso spazio celeste. In questo caso l'aria sarebbe per tutto, essa circonderebbe la luna egualmente che la terra, il sole ed i pianeti, e farebbe intorno a questi astri un'atmosfera simile alla terrestre. Ma noi dimostreremo in Ottica che i fenomeni osservati non giustificano questa illazione, e senza parlare per ora delle cause che probabilmente mantengono le molecole dell'aria, sarem di parere che la nostra atmosfera sia limitata, e che non si estenda al disopra di dodici o quindici leghe. Oltre di questo termine sta il vòto, e l'ultimo strato atmosferico è il limite della massa ponderabile della Terra.

69. *Della pressione dell'aria.* — Fermate una volta le condizioni generali dell'equilibrio, possiamo per via di esperienze dirette far conoscere essere gli strati più bassi dell'aria premuti da' più alti, ed esser varia la pressione alle varie altezze poste al di sopra del livello del mare.

Esperienza del crepa-vescica. — Si ponga sul piatto della macchina pneumatica un cilindro di vetro (*fig.* 90), le cui pareti sieno molto grosse, chiuso nella parte superiore da una membrana di vescica ben tesa e fortemente incollata coi suoi margini. Questa membrana soffre da una banda la pressione dell'aria esterna che tende a deprimerla, e dall'altra la pressione dell'aria interna che tende ad innalzarla; onde è che essa resta in equilibrio fra queste due opposte pressioni. Se per qualunque mezzo s'introducesse nel cilindro una qualunque quantità di aria, la pressione interna diverrebbe più forte, e la membrana si gonfierebbe dalla parte esterna: se al contrario si estragga l'aria, infievolendosi la pressione interna, la membrana cedendo alla pressione esterna dovrà piegarsi curvandosi dalla parte interna. E questo effetto ottiensi facendo operare la macchina pneumatica, perciocchè questa a poco a poco tira l'aria compresa nel cilindro; dopo la prima agitazione degli stantuffi la membrana si vede incurvare sotto la esterna pressione, poi piegasi sempre più, e finalmente quando si è fatto il vòto si vede che essa è fortemente tesa, e per conseguenza premuta moltissimo.

Si può giudicare che un peso di 100 chilogrammi poggiato sulla medesima meno la stirerebbe. Allora se sul mezzo della vescica si dia un colpo anche leggierissimo con un dito, essa si creperà dividendosi in mille parti, e produrrà un'esplosione più forte di un colpo di pistola; tanto è grande lo sforzo che fa l'aria mercè la sua pressione per rientrare nel cilindro, perciocchè rientrando con impeto essa produce cotesto rumore.

Invece di una pressione dall'alto in basso si avrebbe una pressione laterale se il crepa-vescica fosse inclinato, ovvero una pressione di sotto in sopra se fosse capovolto; tutte queste pressioni non producendo minor effetto della prima, segue che l'aria preme per tutti i versi, ovvero che le pressioni si trasmettono e diventano pressioni di sotto in sopra, siccome interviene nei liquidi. Questa esperienza sembra da prima maravigliosa; non s'intende come l'aria di un appartamento possa produrre una pressione sì grande. Sarebbe mestieri che essa fosse molto pesante se operasse per propria gravità, perciocchè una colonna di acqua dell'altezza dell'appartamento non potrebbe mica produrre cotanto effetto. Però vi deve essere un'altra cagione. Supponiamo per un momento che l'esperienza siasi fatta all'aria aperta: allora, secondo i principii dell'Idrostatica, la pressione sarebbe eguale al peso della colonna di aria avente per base la larghezza della membrana e per altezza non un metro, non dieci metri, non cento metri, ma tutta l'altezza dell'atmosfera; dieci leghe se l'atmosfera è alta dieci leghe, cento se cento. Poichè sopra ad una stessa sezione di livello le pressioni son sempre eguali, si vede che in un appartamento la pressione che si produce nel crepa-vescica è anche eguale a tutta la pressione atmosferica(1).

Misurando questa pressione che fa scoppiare con tanto rumore la membrana del crepa-vescica, si avrebbe l'intero peso di una colonna di aria alta quanto l'atmosfera; del pari che un fisico potrebbe al fondo del mare, con simile strumento, conoscere il peso totale della colonna di acqua che innalzerebbesi al di sopra del suo capo.

70. *Misura della pressione atmosferica.* — L'atmosfera circondando la Terra ne preme tutta la superficie appunto come preme sulla

(1) Se il crepa-vescica del quale parla l'Autore si trovasse sotto di un recipiente pieno di aria, e si operasse nella maniera stessa da lui indicata, il fenomeno anche produrrebbesi. In questo caso il fenomeno avverrebbe per la elasticità dell'aria, la quale pareggia sempre la forza di pressione.

Se invece della membrana si faccia uso di un vetro, e si esegua l'operazione sopraindicata, questo romperassi riducendosi in minutissimi frantumi.

membrana del crepa-vescica; essa preme egualmente sulla superficie della Terra ferma, e su quella delle acque, tanto nell'ampia estensione dei mari quanto ne' laghi, non che nei vasi dei quali ci serviamo per le nostre sperienze.

Supponiamo che un tubo s'immerga con uno de' suoi estremi in un vase pieno di acqua (*fig.* 91): il liquido si porrà allo stesso livello nel tubo e nel vase, perciocchè la pressione atmosferica è la stessa, tanto nell'interno del tubo *cd*, quanto al di fuori, sulla superficie *ab*. Ma se s'inspiri una parte dell'aria contenuta nel tubo, il liquido ascenderà come se venisse anch'esso inspirato; il medesimo ascenderà di più se si continui ad inspirare l'aria, e se la inspirazione si sospenda, il liquido si arresterà rimanendo elevato nel tubo. Questa esperienza, la quale è un trastullo infantile, ci offrirà il mezzo di misurare la pressione atmosferica, e di conoscere l'intero peso dell'aria, come se ci venisse dato di porre tutta l'atmosfera in una bilancia. Inspirando l'aria, si attenua la pressione nell'interno del tubo, senza produrre alcun cambiamento sulla pressione esterna, la quale essendo perciò più gagliarda, fa che il liquido ascenda fino a che non sia ridotto alle condizioni di equilibrio, cioè fino a che la pressione non sia la stessa in tutta la linea di livello, vale a dire tanto al di dentro in *cd*, quanto al di fuori in *ab*. Tosto che coteste pressioni rendonsi eguali, il liquido più non ascende; ma la interna pressione prodotta in *ad* è composta dalla pressione nascente dalla colonna elevata e da quella dell'elasticità dell'aria, che rimane al di sopra della medesima. E però col rendere successivamente minore la elasticità dell'aria, l'acqua dovrà sempre più ascendere in guisa che se l'aria del tutto si togliesse, l'acqua dovrebbe ad un cotal punto elevarsi da premere da se sola sopra *cd* con forza eguale a quella con la quale l'atmosfera preme dalla parte esterna sopra di *ab*; è mestieri dunque che il peso di questa colonna d'acqua pareggi quello d'una colonna atmosferica avente la stessa base, ed alta quanto l'atmosfera, perciocchè l'aria e l'acqua premono solo col loro peso sopra ogni centimetro quadrato di superficie. Ecco quindi il mezzo per pesare una colonna atmosferica, sia quale si voglia l'altezza cui possa giungere: esso riducesi a trovare un tubo molto lungo, e ad espellerne, per quanto si può, interamente l'aria. Pascal ne fece l'esperienza a Rouen nel 1646: il tubo da lui adoperato era lungo 46 piedi, e per evitare la difficoltà di privarlo d'aria a poco a poco, il che sarebbe per que' tempi impossibile riuscito, egli fecelo chiudere perfettamente da una parte, lo empì di vino, e poi con un turaccio chiuse anche l'altro estremo. Allora, mercè di funi e carrucole, il tubo fu ridotto in sito verticale, e con l'estremità inferiore immerso in un vase pieno di acqua: tosto che fu levato il turaccio che chiudea la parte inferiore del tubo, la colonna liquida contenuta in questo discese fino a che non giunse all'altezza di circa 32 piedi al di sopra della superficie di livello dell'acqua contenuta nel vase. Ne' 14 piedi che rimasero al di sopra del liquido interno, non eravi aria, onde era uno spazio vôto, e quindi la colonna di liquido da se sola faceva equilibrio alla pressione atmosferica; donde segue che una colonna di acqua o di vino alta 32 piedi pesa quanto una colonna d'aria di eguale base. Laonde la superficie terrestre è in ogni punto premuta come se fosse ricoperta di acqua fino all'altezza di 32 piedi; e noi che stiamo al fondo dell'oceano aereo, siam per ogni verso premuti come se fossimo nel fondo di un lago le cui acque si elevassero per 32 piedi al di sopra del nostro capo (1).

Il primo germe di questa scoperta è dovuto ad alcuni fontanieri di Firenze. Costoro avendo avuto occasione di fare alcune trombe più alte di 32 piedi, osservarono con molto stupore l'acqua non salire fin sopra. In que' tempi l'elevazione dei liquidi spiegavasi dicendo, la natura *abborrire il vôto* e spingervi entro i liquidi per riempirlo. Le spiegazioni date per le *cause occulte* non potevano far pago l'ingegno del Galileo; e però essendogli venuto in notizia il fatto osservato dai fontanieri, suppose la gravità dell'aria doverne essere la vera causa. Il suo discepolo Torricelli ne esibì la più sicura dimostrazione, facendo uso presso a poco del seguente ragionamento: per produrre pressioni eguali le colonne liquide debbono avere le altezze in ragione inversa delle densità; dunque una colonna di 16 piedi di un liquido la cui gravità specifica fosse doppia di quella dell'acqua, dovrebbe equilibrarsi con l'atmosfera, ed il mercurio il quale è ad un dipresso 14 volte più pesante dell'acqua, ridotto in una colonna che sia la quattordicesima parte di 32, ovvero circa 28 pollici dovrà produrre cotesto equilibrio. Questa è una conseguenza la quale si può facilmente verificare:

(1) Ciò s'intende qualora sopra del lago non esercitasse l'aria la sua pressione per cui nel fatto si soffrirebbe sotto questo lago la pressione di due atmosfere.

prendasi un tubo di vetro di una trentina di pollici, chiuso da una parte, si empia di mercurio, e poi turandolo col dito si capovolga immergendolo in una vaschetta piena dello stesso liquido (*fig.* 92). Levando il dito la colonna interiore si abbasserà di qualche pollice e poi si arresterà, si sarà dunque fatto l'equilibrio, e la piccola colonna di mercurio elevata nel tubo è una bilancia che ci fa conoscere il peso dell'atmosfera. Questo strumento è il *barometro:* la colonna di acqua di Pascal era un vero barometro ad acqua. Il vôto che sta sulla colonna barometrica, *vôto barometrico o vôto torricelliano* venne chiamato.

Ora possiamo aver molta giustezza ne' nostri risultamenti. L'altezza del barometro è l'altezza verticale della cima *s* (*fig.* 92) al di sopra del livello *ab*; questa non è la stessa in tutt'i luoghi, ma sul lido del mare è ordinariamente di 76 centimetri. E questa è l'altezza che si prende come *altezza normale* cui tutte le altre si riportano. Supponiamo per un momento che l'aria sia tranquilla in tutta l'estensione dell'atmosfera, che l'equilibrio regni dovunque, e che il barometro al livello del mare segni 76 centimetri di altezza, ci sarà agevole trovare la vera pressione atmosferica ed esprimerla in chilogrammi. Quantunque l'altezza totale della colonna d'aria sia sconosciuta, pure la sua pressione si fa essere eguale a quella di una colonna di mercurio di 76 centimetri di altezza con la quale si equilibra. Or la pressione di quest'ultima siccome di sopra è detto (59), è eguale al suo peso, cioè al suo volume moltiplicato per lo peso dell'unità del suo volume, o finalmente ad

$$1.\ 76.\ \pi.\ d;$$

π essendo il peso del centimetro cubico d'acqua ossia $0^K,001$, e d la densità del mercurio, ovvero 13,598; il che ha, fatto il computo, $1^K,033$ per la pressione atmosferica riferita al centimetro quadrato. Ma questa pressione ha per sola ed unica causa il peso dell'aria; essa risulta dalla somma de' pesi di tutte le molecole che compongono l'intera colonna che ha per base un centimetro e per altezza quella dell'atmosfera: onde questa colonna di altezza sconosciuta pesa perfettamente $1^K,033$. Sopra un decimetro quadrato la pressione sarebbe 100 volte più grande, perocchè un decimetro quadrato comprende 100 centimetri quadrati; essa dunque sarebbe di $103^K,3$, e sopra un metro quadrato sarebbe per la stessa ragione di 10330^{Kil}. Esprimendo finalmente con *s* l'intera superficie della terra misurata in metri quadrati, la pressione di tutta l'atmosfera sull'intero globo terrestre sarà $10330 \times s$; e questo sarà il peso in chilogrammi di tutta l'aria e de' vapori che compongono l'atmosfera. Col continuare le osservazioni barometriche con assiduità si può quindi giungere a sapere se questa massa di sostanze gassose provi delle variazioni subitanee o secolari, o se abbia subito alcun sensibile cangiamento da che Pascal e Torricelli la pesarono la prima volta.

Se le falde d'aria fossero omogenee a qualunque altezza, si potrebbe per le cose dette conoscere la vera altezza dell'atmosfera, perocchè quest'altezza x e l'altezza 76 del barometro sarebbero tra loro in ragione inversa delle densità dell'aria e del mercurio, e si avrebbe

$$\frac{x}{76} = \frac{13,598}{d},\ \text{d'onde}\ x = \frac{76.13,598}{d};$$

essendo d la densità dell'aria per rispetto all'acqua. Or noi abbiam veduto già (46) che un metro cubico d'aria nelle condizioni normali di temperatura e di pressione pesa $1^K,2961$. Per la qual cosa la densità dell'aria è 0012991 e l'altezza dell'atmosfera sarebbe di

$$795520^{cc}\ \text{ossia di}\ 7955^m,$$

poco meno cioè di due leghe. Ma l'aria non è punto omogenea; la sua densità scema con le altezze maggiori, e la legge di questa diminuzione può far conoscere la vera altezza totale dell'atmosfera.

Poichè il barometro a mercurio ha un'altezza normale di 76 centimetri, il barometro a colonna di acqua avrebbe perfettamente un altezza x data dall'equazione

$$\frac{x}{76} = \frac{13,598}{1},$$

poichè la densità 13,598 è riferita a quella dell acqua presa per unità, ne segue $x = 1033^{cc}$, ossia $10^m,33$ si può dunque a piacimento dire che la pressione atmosferica è rappresentata da una colonna di mercurio di 76 centimetri, o da una colonna di acqua di $10^m,33$, ma questa pressione deve poi finalmente essere espressa in peso ed è eguale ad $1^K,033$.

71. *Formazione del barometro.*—Soglionsi dare a questo strumento varie forme, secondo l'uso cui è ordinato; ma sonovi alcune condizioni generali di esattezza, le quali è forza che vengano soddisfatte sia quale si voglia la forma che si scelga.

1°. È mestieri che il mercurio sia purissimo, perciocchè la densità di questo rimane alterata dalla impurità.

2°. Allorchè la colonna sale o scende entro del tubo, la esterna superficie scende o sale, e però convien che lo strumento sia fatto in guisa che si possa in ogni tempo conoscere l' altezza del barometro, cioè l'altezza verticale del livello interno al di sopra dell' esterno.

3°. Uopo è che il vôto al disopra della colonna barometrica sia perfetto, perciocchè restanduvi alcun poco d' aria o alquanti vapori, vi sarebbe una forza elastica, la quale opererebbe di continuo per deprimere il mercurio, e vieterebbe al medesimo di elevarsi alla conveniente altezza.

Per ottenere il vôto il più perfetto che sia possibile, si fa bollire il mercurio nella segnente maniera (*fig.* 88); si empie il tubo per un terzo di sua lunghezza, e si fa bollire a molte riprese in tutta questa estensione: poscia si rifonde nuova quantità di mercurio alquanto riscaldato acciò il tubo non iscoppii, e si fa ricominciare l' ebollizione in tutta la lunghezza della nuova colonna; indi si aggiunge nuova quantità di mercurio, che si fa successivamente bullire fino a che la ebollizione abbia percorsa tutta o quasi tutta la lunghezza del tubo; allora si procuri di empirlo interamente con mercurio bollito, ed il barometro è terminato. Giova intantu l' accertarsi se nel capovolgere il tubo sia entrato in esso qualche poco di aria; e però convien inclinarlo con un po' di destrezza acciò il mercurio vada ad urtarne la cima: sentendosi un colpo *osciutto* si giudicherà il vôto essersi fatto; nel caso contrario l' operazione non sarà riuscita.

Essendosi provveduto a tutto ciò, per aver l' altezza del barometro, è mestieri generalmente far due correzioni, una risguardante la *capillarità*, l' altra la *temperatura* alla quale truvasi il mercuriu nel tempo dell' osservazione. Daremo nella Meteorologia le tavole necessarie per fare le correzioni che dipendono da queste cause.

I barometri si distinguono in due specie, cioè in *barometri a sifone*, e *barometri a pozzetto*. I primi hanno il tubo curvato dalla parte inferiore a guisa di sifune (*fig.* 93), ladilove negli ultimi il tubo è dritto ed immerso con un suo estremo in un pozzetto più o meno grande (*fig.* 92 e 101).

72. *Il barometro comune* è un barometro a sifone (*fig.* 93), accomodato sopra una tavoletta di legno; la scala delle altezze è per lo più di metallo; il *zero* della divisione è fisso, è trovasi al livello del mercurio nel braccio corto: questo livello variando al variar del barometro, ne nascono errori tanto più grandi, per quanto più stretto è il tubo del braccio corto. Talvolta la curvatura del sifone è di ferro, ed ha una chiavetta dello stesso metallo: in questo caso allorchè il barometro si voglia trasportare, s'inclina destramente in guisa da far entrare il mercurio nel braccio chiuso, talchè lo riempia interamente, e poscia chiudendo la chiavetta si ha meno a temere che l' aria possa cacciarsi entro del tubo per le scosse che questo soffre nel viaggio (1).

73. *Il barometro a quadronte di Jecker* è del barometro comune più comodo ed anche più esatto; questo è espresso dalle figure 98 e 100. Nel braccio aperto galleggia un pezzo di ferro cui è annessa una finissima lamina dentata *a*, i denti della quale s' intromettono in quelli di una ruota anche dentata *b*, al cui asse mobilissimo sia unito l' ago *c* che gira sulle divisioni del quadrante *d*; è cosa facilissima il graduare lo strumento in guisa che la vera altezza del barometro in un dato istante si trovi scritta al punto ove arrestasi l' estremo dell'ago. Cotesto barometro convenientemente disposto e sospeso (*fig.* 99) diventa un *barometro marino*, che permette di far buone osservazioni su i navigli anche a costo delle oscillazioni.

74. *Il barometro* del signor Gay-Lussac, come ora si fabbrica dal sig. Bunten, è usato esclusivamente da' viaggiatori, come quello che essendo molto esatto, è anche comodo per le osservazioni, e specialmente facile a trasportare: questo è espresso dalle figure 94 e 95: il braccio curto è perfurato da un bucolino capillare *a* il quale dà comodamente adito all' aria, e non già al mercurio, donde segue potersi capovolgere senza temer che il mercurio possa uscirsene. Allorchè avendolo capovolto per trasferirlo, si raddrizzi per fare una osservazione, non è a temere che l' aria si cacci nel braccio chiuso e giunga sulla colonna del mercurio, facendola discendere, perciocchè il signor Bunten v' ha rimediato con molto accorgimento, siccome apparisce dalla figura 96 in cui sopra una scala più grande vedesi il braccio aperto e la parte inferiore del braccio chiuso. Verso la parte inferiore di quest' ultimo vedesi un rigonfiamento *b* in cui passa una punta *c*; con un poco di destrezza si opera alla lucerna questa maniera di saldatura. Quan-

(1) Ma la materia grassa della' chiavetta suole sporcare il mercurio, per il che Gay-Lussac pensò di levare la chiavetta e di render per altro mezzo lo strumento portatile come fra poco si dirà.

do un barometro è così formato, se mai l'aria si presenti per ascendere nel vôto, essa non vi si potrà cacciar dentro per la punta *c*, e però si andrà a collocare in *d* verso la parte superiore del rigonfiamento; e quando si vede che una certa quantità se ne è ivi raccolta, se ne fa uscire col capovolgere il barometro in modo che la punta peschi sempre nel mercurio.

Nel barometro di Bunten le divisioni son segnale col diamante sul braccio aperto e sul braccio chiuso, e non sarà necessario fare alcuna correzione per la capillarità, perciocchè le due braccia hanno diametri eguali. Cotesto barometro va messo in una canna o astuccio di latta (*fig.* 97).

75. *Barometro di Fortin.* — Il barometro di Fortin (*figg.* 101, 102, 103, e 104) è un barometro a pozzetto, ma si distingue dagli altri perchè è a scala fissa; le divisioni della scala cominciano dall'estremo di una punta di avorio che penetra nel pozzetto e che si vede nella figura 102. Quando si vuol fare un' osservazione, il barometro essendo perfettamente verticale, è mestieri prima di tutto ridurre il livello del mercurio nel pozzetto in contatto giusto dell'estremo dell' anzidetta punta di avorio; e ciò si consegue agevolmente mercè il fondo mobile *fm* (*fig.* 102), imperocchè il mercurio sale o scende secondo che la vite *v* si volge per un verso o per l'altro. Il tubo metallico, entro del quale sta il tubo di vetro, è aperto da due parti verso la cima, ed' è segnato da divisioni computate dall'estremo dell' anzidetta punta, onde basterà dirigere tra le sopraddette aperture un raggio visuale rasente la superficie della colonna, e vedere a quale divisione corrisponda. Ad evitare gli errori ne'quali si potrebbe incorrere guardando alquanto sopra o sotto la linea orizzontale, avvi un corsoio *c* che scorre sul tubo metallico, aperto in una piccola porzione di sua lunghezza; l'apertura che sta dalla parte davanti dello strumento e l' opposta vanno a finire in due piani dello stesso livello, in direzione perpendicolare alla lunghezza del tubo. Il corsoio si fa scorrere fino a che il raggio visuale, che passa rasente i piani suddetti, passi anche per la cima della colonna; allora non si dovrà far altro che notare la divisione del tubo cui corrispondono gli anzidetti piani, il che riesce facilissimo, perciocchè in essi è il *zero* del nonio del corsoio. Si potrà per questo mezzo conoscere l'altezza con frazione non minore di $\frac{1}{20}$ di millimetro (1).

76. *Variazioni del barometro.* — Noi ignoriamo quello che avviene nelle alte regioni aeree; sulla superficie della Terra osserviamo delle variazioni di temperatura, sovente periodiche, e spesso anche subitanee ed improvvise; veggiamo venti ed uragani, ma non ci è dato di poter giudicare de' moti dell' aria oltre di quell'altezza nella quale l'agitazione delle nubi ci rende ancor possibile l'osservazione. Usando del barometro sapremo quel che avviene in tutta l'altezza dell'atmosfera, perciocchè esso in ogni momento ci fa conoscere il peso della colonna d'aria, come se avessimo cotesta colonna equilibrata in una bilancia.

Dalle cose dette già si presume, in uno stesso luogo non restar punto il barometro stazionario nel corso di un anno, ma soffrire invece più o men grandi variazioni: e per fermo, a Parigi, per esempio, non passa un giorno senza che il barometro non varii di parecchi millimetri. Si sogliono generalmente distinguere due maniere di variazioni barometriche: cioè le variazioni *accidentali* e le *orarie*; queste con assai regolarità in date ore riproduconsi, e sono sempre della stessa grandezza, le altre intervengono senza serbare alcuna legge, in modo da non potersene antivedere la intensità, nè il tempo nel quale debbono accadere. Ma per poterle valutare è necessario prima di tutto sapere che cosa vuol dire *altezza media* del barometro.

77. *Altezze medie.* — Non essendo le variazioni rapidissime, se alcuno si faccia ad osservarle di ora in ora, cioè per ventiquattro volte in un giorno, unisca insieme le ventiquattro altezze osservate, e poscia prenda di questa somma la ventiquattresima parte, avrà con molta esattezza l' *altezza media* del giorno, perciocchè avrebbesi quello stesso risultamento che avrebbesi avuto se le osservazioni fosser fatte di mezz'ora in mezz'ora, ed anche in ogni minuto. Ma ciascuno intenderà, che se fosse d'uopo assolutamente fare le ventiquattro osservazioni per avere l' altezza media di un giorno, non sarebbe al certo sperabile di ottenerla, tuttochè importantissima. Quale osservatore infatti potrebbe per anni interi tollerare una regolarità cotanto minuta e meccanica?

Fortunatamente il Ramond ha fatto conoscere con lunga serie di esperienze, esservi un'ora del giorno nella quale l'altezza del barometro è, con grandissima approssimazione, l'altezza media giornaliera: cotesta ora corrisponde al mezzodì nei nostri climi. Laonde

(1) Intorno al barometro dirò alcune altre cose nelle note alla Meteorologia.

non è necessario fare ventiquattro osservazioni al giorno, bastando il farne una con esattezza al mezzogiorno, la quale darà l' altezza che si domanda. S'intende poi di leggieri, con le trenta altezze medie giornaliere potersi avere l' *altezza media del mese*, e con dodici altezze medie mensili aversi parimente l' *altezza media dell' anno.*

Il Ramond ha anche dimostrato non potersi nei nostri climi distinguere nè misurare con precisione il singolare fenomeno delle variazioni orarie, se non si abbia anche cura di conoscere le medie mensuali ed annuali corrispondenti a certe ore del giorno. E però gli osservatori che voglion adoperarsi in pro della scienza, quattro volte al giorno osservano il barometro, cioè sempre alle ore 9 del mattino, al mezzodì, alle 3 ed alle 9 della sera.

A Parigi l'altezza media non è la stessa in ogni anno, ma le variazioni che soffre son picciolissime: nello spazio di venti anni, cioè dal 1816 la maggior differenza non è giunta a quattro millimetri, e la media generale si è trovata in circa 756 millimetri.

78. *Variazioni accidentali.* — Il barometro soffre nei nostri climi, ed in particolare verso il settentrione, delle continue oscillazioni, riducendosi or sopra or sotto dell'altezza media, e talvolta si vede soffrir delle improvvise alterazioni per le quali ascende o discende per alcuni centimetri. La maggiore altezza cui sia montato una volta a Parigi è di 871 millimetri, e nella maggior depressione giunse una volta a 719, ed è da notare questi estremi aversi avuti nello stesso anno, cioè nel febbraio e nel dicembre del 1821.

Le variazioni del barometro dinotano un cambiamento presente nell'atmosfera; parecchi son di credere che queste predicano anche i cambiamenti futuri, e che sapendosi consultar bene il barometro, si possa molti giorni prima con certezza annunziare la pioggia ed il buon tempo; è questa una quistione di Meteorologia la quale discuteremo altrove. Darem per ora la misura di un altro effetto, cioè della differenza di pressione che soffriamo per le variazioni barometriche. Coteste pressioni si ricavano dal seguente quadro.

Altezza del barometro in millimetri	Pressione sopra un metro quadr. in chilogr.	Altezza del barometro in millimetri	Pressione sopra un metro quad. in chilogr.	Altezza del barometro in millimetri	Pressione sopra un metro quad. in chilogr.
500mm	6792ch.	600mm	8152ch.	700mm	9510ch.
510	6929	610	8287	710	9646
520	7055	620	8423	720	9782
530	7201	630	8559	730	9918
540	7336	640	8695	740	10054
550	7472	650	8831	750	10189
560	7608	660	8967	760	10325
570	7744	670	9103	770	10461
580	7880	680	9638	780	10597
590	8016	690	9374	790	10733

Si vede dunque che essendo il barometro a 760 millimetri, una superficie di un metro quadrato è premuta da 10597 chilogrammi, e che questo enorme peso è ridotto a 9782 chilogrammi allorchè il barometro scende a 720; laonde la superficie del nostro corpo essendo di circa un metro quadrato, veniamo in questo caso sgravati di un peso di 815 chilogrammi. Una causa cotanto energica dovrà sicuramente operare considerabili effetti sopra tutte le funzioni fisiologiche, ed in particolare sopra i fenomeni della respirazione e della circolazione; ma cotesti effetti sono generalmente così intrigati, che sarebbe mestieri di numerose esperienze per distinguerli.

Sul monte d' Oro ed alla posta del monte Cenisio l'altezza del barometro suole essere di 600 millimetri circa. Un viaggiatore dunque il quale parte dal lido del mare ed ascende su queste montagne, è sgravato di un peso di 2173 chilogrammi, e lo sarebbe di 3539 se montasse ad un' altezza nella quale il barometro segna 500 millimetri, il che avviene presso a poco sulla cima dell'Etna e del monte Libano.

Ognun sa ciò che vien narrato dai viaggiatori intorno alle insolite sensazioni che si soffrono sulle alte montagne ove il barometro si tiene a 400 o 500 millimetri. Vedesi il viaggiatore circondato da orizzonte vastissimo, si sente da enorme peso sgravato, e respirando un'aria pura e leggiera, gli sembra di non appartenere più alla Terra.

Le variazioni accidentali del barometro non sono egualmente grandi in tutti i climi, nè a tutte le altezze, ed i limiti tra i quali soglion queste avvenire sono fra loro più lontani per quanto maggiore è la latitudine. Fin dal 1690, il padre de Beze avea osservato, a Pondicheri ed a Batavia, il barometro rimanere invariabile, anche nei tempi delle più forti tempeste: confermava poi Legentil coteste osservazioni; ed ora è dimostrato, non variare il barometro al sopravvenire dei disquilibri atmosferici, ma invece appalesare regolari e periodiche variazioni, le quali perciò variazioni orarie sono chiamate.

79. *Variazioni orarie.* Verso il 1722 furono le *variazioni orarie* esattamente conosciute mercè le osservazioni di un Olandese del quale s'ignora il nome. Posteriormente parecchi osservatori sonosi adoperati a determinare la grandezza ed i periodi di coteste variazioni per diversi luoghi della Terra. Il signor Humboldt con una lunga serie di preziosissime osservazioni ha dimostrato sotto l'equatore aversi la massima altezza alle ore 9 del mattino; indi il barometro discendere fino alle ore 4 ed anche fino alle $4\frac{1}{2}$ dopo il mezzogiorno, nel qual tempo segna la sua altezza minima; ascender di poi fino alle ore 11 della sera, tempo in cui segna un secondo massimo, e discender poscia nuovamente sino alle quattro del mattino. Laonde in ogni giorno passa pei due minimi alle ore quattro del mattino ed alle ore quattro della sera, e pei due massimi alle 9 del mattino, ed alle 11 della sera. I moti di elevazione e di abbassamento son sì regolari, che potrebbero come il moto dell'orologio essere adoperati per indicare le ore, se non fosse troppo breve il loro spazio, giacchè, secondo le misure di Humboldt, tra il punto di altezza massima del mattino e quello di altezza minima dopo il mezzogiorno passa l'intervallo di due millimetri.

Ne'nostri climi coteste variazioni orarie sono talmente confuse colle variazioni accidentali, che per ravvisarle e misurarle sarebbe mestieri di tutta la sagacia e di tutta la precisione di un osservatore come il Ramond. Mercè le osservazioni di molti mesi fatte con precisione in ore opportune, si può solo giungere a conoscere i periodi orarii. Il Ramond ha conosciuto che le loro epoche variano colle stagioni. Nell'inverno il massimo corrisponde alle ore nove del mattino, ed il minimo alle tre dopo il mezzogiorno, ed il secondo massimo alle nove della sera.

Nella state il massimo avviene pria delle ore otto del mattino, il minimo alle ore quattro dopo il mezzogiorno, ed il secondo massimo alle undici della sera.

In primavera ed in autunno le ore *critiche* sono intermedie, avvicinandosi più o meno a quelle della state o del verno, e le variazioni hanno limiti alquanto più angusti di quelli dell'equatore. Nelle maggiori latitudini è mestieri paragonare e mettere in disamina maggior numero di osservazioni, affin di ricavarne i periodi orarii, ma intorno a ciò la scienza ha molto a desiderare.

80. *Legge di Mariotte.* — La legge di Mariotte è la legge della compressibilità dei fluidi elastici; essa può enunciarsi così: *I volumi de'gas sono in ragione inversa delle pressioni che soffrono.* Per dimostrar coll'esperienza questa fondamentale verità, prendasi un tubo ricurvo (*fig.* 105) il cui braccio corto sia cilindrico e chiuso nell'estremo superiore, restando aperto il braccio lungo per ricevere la pressione atmosferica. Vi si versi da prima poca quantità di mercurio; poscia inclinando il tubo per fare uscire una porzione d'aria dal braccio corto, si giungerà finalmente a ridurre il mercurio allo stesso livello dall'una e dall'altra parte. In questo caso l'aria contenuta nello spazio *ab* trovasi precisamente sotto la pressione atmosferica; e se partendo da questo punto si riduca l'aria alla metà, alla terza, o alla quarta parte della lunghezza *ab*, il suo volume sarà anche ridotto alla metà, al terzo o al quarto, perciocchè il tubo è cilindrico. Per ridurre in tal modo i volumi, si versi del mercurio entro al braccio aperto fino a che la cima della piccola colonna giunga al punto *m* che è nel mezzo della lunghezza *ab*; questo punto *m*, ed il corrispondente punto *n* del braccio grande, soffrono la stessa pressione, perciocchè sono allo stesso livello, cotesta pressione è di due atmosfere, perciocchè ella si compone del peso della colonna *ns*, la quale trovasi sempre eguale in altezza alla colonna barometrica, e della stessa pressione atmosferica la quale opera ancora sulla parte superiore della colonna. Dunque mercè una doppia pressione il volume dell'aria contenuto nel braccio corto si è ridotto alla metà. Dando allo strumento il braccio aperto molto più lungo: nella stessa guisa dimostrasi esser mestieri

d'una pressione di tre atmosfere per ridurre il volume al terzo, e di quattro atmosfere per ridurlo al quarto di quel che era sotto una sola pressione atmosferica. Tra questi limiti la indicata legge si applica a tutti i casi. Ma i signori Arago e Dulong han dimostrato essa aver luogo per l'aria senza alcuna variazione fino a 27 atmosfere. Ecco il mezzo da essi adoperato per render aperta questa verità.

Gli apparati si posero nel collegio di Enrico IV, in un'antica torre quadrata nel centro della quale erasi potuto facilmente piantare una grande asta di legno alta circa cento piedi. Verso la base di questa era un vaso metallico, con un manometro ed una tromba premente. e nell'altezza dell'asta medesima un tubo di vetro la cui lunghezza era tra 75 ed 80 piedi (esso era composto di 13 tubi di sei piedi, giunti per dritto l'uno dopo l'altro).

Si potrà acquistare un'idea di tutto ciò volgendo uno sguardo alle figure 111, 112 e 113 della tavola V.

v, è il vaso metallico,

p, la tromba premente,

mn, il manometro fisso dalla parte superiore della medesima,

t, il tubo verticale aperto di sopra,

a, la grande asta accanto alla quale il tubo s'innalza.

Se si suppongono, 1.° che il vaso metallico contenga del mercurio, 2° che il tubo del manometro sia graduato e contenga dell'aria asciutta, 3° che il mercurio si elevi alla stessa altezza nel tubo del manometro e nel tubo verticale *t*, è chiaro trovarsi l'aria sotto la pressione di un'atmosfera, e conoscersi il volume che occupa sotto tale pressione. Se stando così le cose si dia moto alla tromba premente per introdurre dell'acqua sulla superior superficie del mercurio contenuto nel vase anzidetto, si produrranno delle pressioni ognor crescenti sull'aria asciutta del manometro, ed in pari tempo il mercurio successivamente monterà su tal tubo verticale. Finalmente per conoscere in ogni momento il volume dell'aria compressa, basterà osservare con precisione la lunghezza che occupa nel tubo del manometro computata dall'estremo chiuso; e per conoscere la corrispondente pressione basterà misurare la differenza di livello del mercurio nel tubo del manometro e nel tubo verticale.

Ognuno intenderà esser d'uopo per tali sperienze di tutta quell'abilità della quale i signori Arago e Dulong han dato tante pruove con le loro belle scoperte fatte in tutt'i rami della Fisica. Sarebbe per noi impossibile di qui descrivere con tutte le particolarità la perfezione con la quale le diverse parti della macchina eran disposte, e tutte le giudiziose precauzioni che furon prese per ottenere risultamenti sicuri. Ci farem solo ad indicare alcune più necessarie disposizioni della tromba premente, del tubo verticale e del manometro.

Tromba premente. — Non solo era d'uopo che la tromba premente fosse molto ben fatta da poter introdurre l'acqua sotto una pressione di 27 atmosfere, ma era benanche mestieri che essa ritenesse perfettamente l'acqua introdotta, acciocchè le cime delle colonne di mercurio nel tubo verticale e nel manometro fisse rimanessero. E ciò si conseguiva mercè l'animella *b*, posta dove lo stantuffo finiva di scendere (*fig.* 113).

Tubo verticale. — Era questo composto di 13 tubi di cristallo ciascuno lungo 2 metri, aventi l'interno diametro di 5 millimetri, ed altrettanto di grossezza; siffatti tubi erano uniti mercè alcune forti ghiere, siccome si vede in *c* nella figura 113, e più particolarmente nella figura 111. La lamina orizzontale *h* serve per segno; una simile ve ne ha nella inferior parte di ciascun tubo, e si misura la distanza tra due segni consecutivi ponendo sull'inferiore un regolo diviso *r*, e spingendo una linguetta *l* fino a che essa riducasi al piano del segno superiore. Affinchè i tubi di sotto non fosser da quelli di sopra soverchiamente premuti, si badò di legare verso la parte di sopra di ciascun tubo de' funicoli i quali pendevano verticalmente in giù dopo di esser passati sopra certe carrucole, ed erano gravati da pesi uguali a quelli dei tubi (*fig.* 115). In tal guisa la colonna non premeva per niente in sulla base.

Manometro. — Il tubo del manometro era a quelli della colonna verticale perfettamente simile: era soltanto assottigliato verso la parte superiore, graduato con molta cura, senza farvi sopra alcun segno col diamante per non indebolirne la resistenza, e poi accomodato sulla piastra *e* del vaso metallico. Indi erasi fatta passare per entro al medesimo una corrente d'aria asciutta, e finalmente erasi chiusa alla lucerna la cima assottigliata, senza far soffrire alla scala una sensibile variazione. Nella figura 112 si vede come l'estremo inferiore del tubo del manometro è accomodato sulla lamina *e* del vase metallico; uopo è avvertire che la ghiera si ripiega sotto la grossezza del tubo per impedire che la pressione lo innalzi. Affinchè l'aria del manometro serbasse la stessa temperatura, il tubo era circondato da un cilindro di vetro entro del quale l'acqua continuamente scorrea. Da ultimo per potere es-

attamente ravvisare il termine superiore della colonna di mercurio, dalla parte interna del cilindro erasi posto un ordigno x portante una lente, la quale si facea salire e scendere mercè un arganello q sul quale era avvolto un filo di seta il quale passava sulla girella superiore y, sulla inferiore z, e legavasi al contorno dell' ordigno anzidetto.

Alcuni termometri convenientemente ordinati faceano in ogni tempo conoscere la temperatura delle varie parti dello strumento; e due barometri, situati l' uno sopra e l' altro sotto, servivano a far conoscere la pressione atmosferica corrispondente alla cima ed alla base della colonna verticale.

Son questi i mezzi adoperati per dimostrare la legge di Mariotte fino a 27 atmosfere, e potrà dirsi con ragione estendersi senza alterazione sensibile almeno fino a 50.

Essendo la densità dei corpi in ragion reciproca de' volumi che occupano, la legge di Mariotte si potrà anche enunciare dicendo, *essere le densità de' gas proporzionali alle pressioni che soffrono*. La densità dell' aria sotto una sola pressione atmosferica essendo circa la 770ma. parte della densità dell' acqua, ne segue dover essere l'aria densa quanto l'acqua sotto la pressione di 770 atmosfere. Laonde entro del mare ad una profondità eguale a 770 volte dieci metri, ovvero a 7700 metri, che fanno circa due leghe, l' aria più pesante sarebbe dell'acqua, e quindi quantunque ancor sotto forma gassosa non potrebbe venirne alla superficie. Ma non si ha finora alcuna ragione per dir che si trovi l' aria nel fondo del mare, come nessuna ve ne ha per dire che si trovi un liquido al di sopra dell'aria.

Due volumi occupati successivamente da un gas, e le due corrispondenti pressioni, son quattro quantità costituenti una proporzione inversa; e però essendone date tre, si potrà sempre rinvenir la quarta. Dicasi lo stesso di due successive densità, rispetto a' due corrispondenti volumi o alle due pressioni.

80. ***Della macchina pneumatica.***—La macchina pneumatica serve a fare il vòto: essa è composta di due trombe cilindriche simili a quella rappresentata in a (*fig.* 106), b è uno stantuffo che sale e scende mercè l' asta c; ma in tutte le posizioni *mantiene il vòto*, cioè tra la sua superficie e la interna parete del cilindro non passa aria o altro fluido.

s è l' animella dello stantuffo; questa è leggerissima, ed apresi da sotto in sopra: apresi quando la pressione inferiore è della superiore alquanto più forte, e nel caso contrario perfettamente si chiude.

L' asta lunga cd fa nella tromba l' ufficio di animella (1), la quale si apre e si chiude mercè il moto dello stantuffo, perciocchè quando questo ascende la innalza, la parte rigonfiata d è trattenuta dalla lamina superiore della tromba, e lo stantuffo scorre a strofinio stretto sulla intera lunghezza dell' asta; quando scende poi la trae seco, ed il cono troneo e si caccia nel sottoposto forame conico in modo che la sua base forma col fondo della tromba un solo piano, sul quale va lo stantuffo a combaciare.

Il *meato* della macchina prende origine dal fondo dell' apertura conica, esso giunge fino a t' ove termina a vite, per poter ricevere sfere, recipienti ed ogni altra maniera di vasi da' quali si voglia estrarre l' aria.

p è il *piano* della macchina pneumatica; il medesimo è formato da una grossa lamina metallica sulla quale è incollato un piatto di vetro avente parecchie linee di grossezza, perfettamente spianato e leggermente forbito nella faccia di sopra.

h è una *campana*, nella quale si fa il vòto; essa ha l' orlo inferiore anche spianato e forbito, acciocchè possa coll' anzidetto piano perfettamente combaciare. Una lieve spalmatura di sevo serve per accrescere l' adesione, perciocchè è mestieri assolutamente che l' aria esterna non penetri tra la campana ed il piano.

Supponiamo che lo stantuffo si trovi alla metà del suo cammino, che le animelle siano aperte, e che l' aria nella campana, nel meato e nella tromba sia alla pressione atmosferica: facendo scendere lo stantuffo la seconda animella si chiude, e l' aria della tromba non può rientrare nella campana; essa uscirà per la prima animella, e quando lo stantuffo giungerà al fondo della tromba, non ve ne resterà alcun poco. Innalzando allora lo stantuffo, se le animelle si tenessero chiuse si farebbe il vòto; ma siccome la seconda animella si apre, così l' aria della campana va a riempire il vòto, e la seconda animella si tien chiusa con l'alzar dello stantuffo, perciocchè la interna pressione è sempre minore della esterna: se, per esempio, la capacità della tromba sia la decima parte di quella della campana e del meato, passerà nella tromba $\frac{1}{11}$ di tutta l' aria che si deve estrarre per fare il vòto. Facendo scender di nuovo lo stantuffo, la seconda animella si chiude, e l' aria sempre più si comprime; ma tosto

(1) Animella, volgarmente *valvola*.

si giunge al punto in cui la elasticità vince quella dell'aria esterna; allora essa apre la prima animella e sen va nell'atmosfera. Un altro colpo di stantuffo farà anche uscire $\frac{1}{11}$ dell'aria rimanente, e così, continuando questi moti alternativi, ogni colpo farà uscire $\frac{1}{11}$ del residuo, poi $\frac{1}{11}$ del residuo, e così appresso. D'onde si fa aperto non potersi mai fare il vôto perfetto, perciocchè col prendere l'undecima parte di una quantità, e poi l'undecima parte dei successivi residui, non si giungerà mai a prenderla tutta. Ciò non pertanto si arriverà a render l'aria della campana sì poco elastica che può giungere fino ad avere la forza di due millimetri. La prontezza dell'operazione dipende dalla ragione che passa tra la capacità della tromba e quella della campana. Se questa ragione sia conosciuta, si potrà facilmente calcolare quanti colpi di stantuffo saranno necessari per ridurre l'aria ad una determinata forza elastica; e quindi si potrà mercè la legge di Mariotte calcolare il peso dell'aria rimasta, se si conoscerà il peso del primitivo volume.

Per compiere la macchina pneumatica di sopra descritta, la quale è in certo modo ridotta alle sue parti più semplici, si vede che bisogna aggiungervi un modo di misurare la pressione dell'aria che resta nella campana, ed un modo di far rientrare l'aria nella medesima, perchè altrimenti non potrebbesi separare dal piatto. Questo doppio fine si consegue aggiungendo alla macchina il *provino* e la *chiave*.

Il provino (*fig.* 106) è composto di un cannello di vetro a forma di u e di una piccola campana che lo contiene; il cannello è rappresentato a parte (*fig.* 115) esso è aperto solo da un capo; si pone sopra una scala divisa in millimetri, e la campana sotto la quale è chiuso ha una chiavetta *r* (*fig.* 106) per mezzo della quale essa può esser messa in comunicazione col condotto della macchina. Quando questa comunicazione è aperta l'aria si rarefà allo stesso grado tanto nella campana ch'è sul piatto quando nella piccola campana del provino. Il cannello a forma di u diventa un barometro a sifone di cui il braccio aperto è lungo quanto il chiuso; laonde come prima l'aria è un poco rarefatta, il barometro discende ossia il mercurio si abbassa nel braccio chiuso e s'innalza nel braccio aperto; la differenza di livello misura, secondo il solito, l'elasticità del gas. Se si giungesse a fare il vôto perfetto il mercurio si ridurrebbe allo stesso livello in ambo le braccia, e se nel braccio chiuso il mercurio sia per 1 millimetro più alto, il vôto si dirà fatto ad 1 millimetro, vale a dire che l'elasticità del gas rimanente è di un millimetro di mercurio, ec.

Intendesi che se il barometro che forma il provino non fosse ben purgato di aria il livello del mercurio nel braccio chiuso sarebbe più basso di quello del braccio aperto, dopo di aver fatto il vôto, e tutte le indicazioni del provino sarebbero false fin dal principio dell'esperienza.

Invece di fare il provino con un barometro intero, si fa comunemente con un' *barometro troncato*, siccome quello espresso nella figura 106; in questo caso il ragionamento è perfettamente lo stesso, se non che il mercurio non comincia a discendere se non quando la elasticità dell'aria nella campana è minore della distanza che vi ha tra la cima del braccio chiuso ed il livello del mercurio nel braccio aperto.

Quando si fa estrarre l'aria, nel modo che abbiam detto, il mercurio ascende con violenza nel braccio chiuso del provino, ed affinchè non lo rompa nell'urtarne la cima con forza si suole operare una maniera di stringimento (*etranglement*) che modera la velocità.

La chiave è ordinata a fare entrare l'aria ed anche a porre o togliere la comunicazione tra le camere delle trombe e la campana; essa si pone in *y* (*fig.* 106) ed è rappresentata a parte un poco al di sopra della campana. Questa è una maniera di chiavetta che distinguesi dalle altre perchè non ha solamente un foro *trasversale*, ma ne ha anche uno longitudinale, il quale parte dallo stesso estremo e termina nella zona del primo. Questo foro si chiude mercè il turacciolo conico *b*. Quando si vuol mantenere il vôto sotto la campana, si volge la chiavetta affinchè l'apertura trasversale si trovi diretta dall'alto in basso e la longitudinale di lato al corpo di tromba. In questo modo ogni comunicazione è interrotta. Quando si vuol fare rientrare l'aria si fa fare alla chiave una mezza rivoluzione e si toglie il turacciolo *b*, allora l'aria si precipita nel condotto e quindi nella campana.

La macchina come era fatta da Fortin è rappresentata nella figura 108 e dopo le cose dette basterà volgervi lo sguardo per intenderne la disposizione. Si osserverà solamente che dall'alto del condotto verticale che porta il piatto *p*, parte un condotto orizzontale che comunica con un tubo barometrico *t* il cui estremo inferiore è tuffato in un pozzetto *v*. Questo tubo fa l'uffizio di provino, e nelle ricerche delicate

esso va anteposto al comune provino di cui di sopra è detto, perchè questo potrebbe non essere ben purgato di aria.

I due empoli ad aste dentate mossi con moto di *va e vieni* presentano anche un vantaggio: quando il vôto è fatto, per elevare un empolo di un decimetro di raggio, sarebbe mestieri di uno sforzo di $314 \times 1^{K}, 033 = 324^{K}$; ma con due empoli connessi mercè il rocchello che s'ingrana ne'denti delle aste, questo sforzo svanisce perocchè un empolo discende nell'atto che l'altro sale, e quindi non si deve vincere altro fuorchè l'attrito.

Si dee al signor Babinet un ingegnoso perfezionamento della macchina pneumatica, indicato nella figura 108, il quale ci dà l'agio di avere un vôto con pressione di un millimetro almeno. La chiavetta *r* posta tra le due trombe un poco al di sopra del fondo delle stesse, ha quattro aperture *s*, *t*, *v*, *u*. La prima e la seconda passano da una parte all'altra, e son tra loro perpendicolari; la terza *v* penetra solo della metà la chiavetta; e la quarta *u*, la quale è diretta secondo la lunghezza, comunica con le aperture *t* e *v*. Nel fondo della tromba *a* avvi un meato curvo il quale prende origine dal buco dell'animella conica, e finisce in *b* e *c*, nella cavità della chiavetta *r*; nel fondo della tromba *d* vi sono due meati, l'uno che ha l'origine dal buco dell'animella conica e termina in *e*, l'altro che prende origine dal fondo della tromba e va a terminare in *g*. Nella postura espressa dalla figura, elevando lo stantuffo *a*, si fa in pari tempo il vôto sotto la campana mercè il canale *ux*, e sotto lo stantuffo *d* mercè l'altro canale *gsc*, e quindi s'ingenera equilibrio di elasticità tra la tromba *d* e la campana; ma se si volga la chiavetta *r*, per un quarto di giro, i buchi *c* e *y* si chiuderanno, il canale *t* si ridurrà innanzi alle aperture *b* ed *e*, e la macchina opererà secondo il solito. Onde portando la chiavetta *r* nella prima giacitura mentre lo stantuffo *a* si eleva, e nella seconda quando si abbassa, si dovrà ottenere un vôto più perfetto di quello che avrebbesi con le macchine comuni.

La macchina pneumatica fu inventata nel 1650 da Ottone da Guericke, borgomastro di Magdeburg: la medesima fu poco dopo da molti fisici renduta migliore. Hook pose la tromba in direzione verticale, Papin vi aggiunse il piano, Hawksbec ridusse le trombe a due, laddove prima eravene una sola, e poscia furono variamente le animelle formate (1).

Ottone da Guericke fece con la sua macchina la piacevole sperienza degli *emisferi di Magdeburgo*, la quale consiste a fare il vôto in un globo di metallo le cui metà siano solo combaciate fra loro. Pria di fare il vôto i due *emisferi* possonsi agevolmente separare; ma tostochè entro di questi non siavi più aria che possa opporsi alla pressione dell'aria esterna, questi si tengono sì fortemente stretti che la forza di un uomo non giunge a separarli. E per fermo se la sezione degli emisferi abbia un sol decimetro di raggio ovvero intorno a 300 centimetri quadrati di superficie, la esterna pressione che gli unisce equivale a più di 300 chilogrammi. Suolsi porre una striscia di cuoio alla giuntura degli emisferi per far che meglio si tocchino; deve poi esservi una chiavetta, la quale si apre quando l'aria deve uscire, e si chiude per non farla rientrare (2) (*fig.* 122).

La macchina pneumatica serve per molte sperienze che far si possono intorno alle pressioni, ed alle proprietà de' corpi organici ed inorganici.

Si dimostra, per esempio, i corpi in combustione spegnersi nel vôto; il fumo cadere come una massa pesante; nell'acqua esservi l'aria in dissoluzione; rimanere alcun poco d'aria tra le pareti dei vasi e le superficie dei liquidi contenuti in essi, il che si rende aperto da una moltitudine di bollicine le quali si mostrano più grandi secondo che la pressione si va facendo minore; si vede anche bollire l'acqua fredda; alcuni insetti vivere per molti giorni nel più perfetto vôto della macchina; le sostanze capaci di fermentazioni mantenersi inalterate ec. ec. Su quest'ultima proprietà riposa il metodo del signor Appert per con-

(1) Infatti l'animella conica della quale parla l'Autore non si rinviene in moltissime macchine pneumatiche del Dollond, di Nairne e di altri valenti artisti, nè pare che quell'asta che penetra lo stantuffo possa per lungo tempo chiuder sì bene il buco del medesimo da non dar passaggio all'aria. Ha però questa maniera di animella un vantaggio sulle comuni, il quale consiste nel far passare l'aria dalla campana nella tromba anche quando sia rarefatta moltissimo, nell'atto che standovi un'animella comune, l'aria finirebbe di entrare nella tromba quando la sua forza elastica più non sia sufficiente ad aprire l'anzidetta animella.

(2) La striscia di cuoio non è necessaria quando le sezioni siano bene appianate: anzi i due emisferi restano fra loro fortemente uniti anche dopo che l'aria sia in essi rientrata; e ciò perchè toccandosi esattamente le sezioni, si ha tuttavia un eccesso di pressione dall'aria esterna, e si appalesa anche fra i piani delle sezioni quella maniera di attrazione che si è detta di contatto, ed anche di superficie.

servare i comestibili. Il quale ritrovato eseguito in grande nei porti di Francia e d'Inghilterra, rende i maggiori servigi alla marina: abbiamo dopo sedici anni aperti de'vasi preparati, e vi abbiam rinvenuti i comestibili freschi, quasi fossero di un giorno.

81. *Macchina di compressione.* — La macchina di compressione (*fig.* 108) è ordinata a comprimer l' aria. Essa è composta di due trombe simili a quelle della macchina pneumatica, le quali differiscono solo nelle animelle che apronsi per lo verso opposto, cioè di sopra in sotto. Scendendo lo stantuffo, preme l'aria e la fa passare nel recipiente; alzandosi poi, l' aria esterna apre la prima animella ed entra nella tromba nell'atto che l' aria compressa del recipiente preme la seconda animella mantenendola chiusa; scendendo finalmente di bel nuovo lo stantuffo, la prima animella chiuderassi, e l' aria a mano a mano comprimendosi giungerà ad aprire la seconda, ed entrerà nel recipiente; e così appresso.

Il provino della macchina di compressione è un tubo dritto chiuso da una parte ed immerso con l' altra in una vaschetta di mercurio. Nel cominciare l'esperienza l' aria contenuta nel tubo è sotto una sola pressione atmosferica, ed il mercurio tanto dentro quanto fuori del tubo si tiene allo stesso livello: secondo che la pressione cresce, il mercurio ascende nel tubo, il volume dell'aria contenuta in esso riducesi successivamente alla metà, alla terza o alla quarta parte di quello che era; e per la legge di Mariotte si potrà giudicare, esser quest'aria premuta da due, da tre o da quattro atmosfere. La pressione nel recipiente è maggiore di quella nel tubo per quanto è la colonna del mercurio che riman sollevata al di sopra dell'esterno livello.

82. Avvi delle *trombe di compressione* le quali sogliònsi avvitare sopra diversi vasi per comprimervi l'aria; in questo caso esse son solo composte di un corpo di tromba e di uno stantuffo senz' animella. Il corpo di tromba offre tre particolarità (*fig.* 116): 1° ha una vite verso la parte inferiore, 2.° ha un animella *s* alla quale lo stantuffo sempre più si avvicina allorchè discende; 3°, verso la parte di sopra è forato da un piccol buco *t* (*fig.* 120), il quale è sempre aperto, e fa intanto le veci di animella, perciò che trovasi or sopra or sotto dello stantuffo.

Alcune volte invece di un piccol buco si fa una vera animella lateralmente al corpo di tromba (*fig.* 116): questa disposizione può esser utile a comprimere qualunque gas, facendo perciò comunicare il tubo dell'animella col serbatoio entro del quale il gas ritrovasi.

83. *Misura delle pressioni de'gas contenuti in diversi recipienti.* — La pressione de' gas per due mezzi generalmente misurasi, cioè per mezzo delle colonne liquide, o delle animelle. Gli strumenti a colonna liquida diconsi *manometri*; le animelle generalmente diconsi *valvole di pressione*, e *valvole di sicurezza* poi se ad impedire le esplosioni sono ordinate.

Valvole di pressione. — Coteste animelle sono di forma e di grandezza assai varie: sono talvolta de'coni tronchi (*fig.* 110, *a* e *b*), talvolta riduconsi semplicemente ad un piano che combaci con molta giustezza sulle pareti dell'apertura (*fig.* *c*). In ogni caso esse debbon perfettamente chiudere fino a che non vengano alzate. Per poter valutare la elasticità del gas capace ad alzare, è mestieri conoscere due cose: 1°. tutto il peso che preme sull'animella: 2°. la superficie della medesima, sulla quale la pressione verticale del gas si opera. Supponiamo che il peso venga estimato in chilogrammi, ed in centimetri quadrati la superficie premuta: se il peso, per esempio, sia di 100 chilogrammi, e la superficie di 25 centimetri, ogni centimetro quadrato sosterrà 4 chilogrammi, dunque da quel che innanzi dicemmo (§ 34), il numero delle atmosfere è eguale a $\frac{4}{1033}$, ovvero a 3^{at}, 87, oltre alla ordinaria pressione atmosferica che anche si opera sull' animella. Questo metodo vale pe' liquidi e pe' gas; esso è adoperato per mettere a pruova i tubi de' condotti ed i cilindri delle macchine a vapore.

Se si esprima generalmente con *s* la superficie della valvola contro la quale la pressione si esercita e con *p* il peso da cui è gravata comunemente al peso proprio, la pressione sull'unità di superficie è $\frac{p}{s}$, ed il numero delle atmosfere sarà

$$\frac{p}{s.1^{K},033},$$

purchè *p* sia espresso in chilogrammi ed *s* in centimetri quadrati.

Qualche volta in vece di esprimere cotesta pressione in atmosfere si può aver bisogno di esprimerla in colonna liquida, ed a questo si perviene mercè la formola (68)

$$\frac{p}{s} = h.\,\pi.\,d, \text{ d'onde si ha } h = \frac{p}{s.\,\pi.\,d}.$$

Se p è dato in chilogrammi ed s in centimetri quadrati, si avrà $\pi = 0^K,001$, ed il valore di h sarà espresso in centimetri; d essendo sempre la densità del liquido per rispetto all'acqua.

La incertezza che vi può essere in tali determinazioni risulta specialmente dalle difficoltà che si presentano per avere il vero valore di s. E per fermo, quando la valvola è conica, se non è ben lavorata da combaciare col foro della parte più stretta, la superficie che riceve la pressione non è nè la base minore nà la maggiore, e quindi è d'uopo prendere per s una superficie intermedia la cui grandezza ha sempre qualche cosa di arbitrario.

Il valore di p poi si ottiene facilmente se il peso è posto immediatamente sulla valvola; ma se, siccome suolsi, il peso è applicato all'estremo di una leva (*fig.* 110, *a*) allora si determina mediante la proporzione:

$$\frac{x}{d}=\frac{b'}{b}.$$

b e b' essendo le braccia di leva del peso p e della valvola, ossia le perpendicolari abbassate dal punto fisso sulla verticale del punto di attacco del peso e sulla verticale del punto che preme sulla valvola.

Manometri. — Il nome di manometro fu dato dal Varignon ad uno strumento da lui adoperato per misurare la rarefazione dell'aria. Frattanto dicesi *manometro* ogni strumento a colonna liquida ordinato a misurare le pressioni. Il barometro misura la libera pressione dell'atmosfera; il manometro misura la pressione de' fluidi contenuti negli spazi chiusi. Il provino della macchina pneumatica e quello della macchina di compressione son veri manometri. Ciò non pertanto negli strumenti di questa natura si può fare qualche distinzione.

La figura 124 esprime un manometro per mezzo del quale misurasi la forza elastica dei gas contenuti nella sfera b: esso fu adoperato prima da Saussure, poi da Berthollet, nelle importanti ricerche fatte da' medesimi intorno alla vegetazione ed a' fenomeni de' corpi dotati di vita. Le piante e gli animali venivan chiusi entro la sfera.

I *tubi di sicurezza* son manometri i quali indicano la forza di espansione de' gas contenuti ne' recipienti a' quali sono essi adattati. Allorchè la tensione è eguale alla pressione atmosferica, il liquido tiensi allo stesso livello in ambe le braccia (*fig.* 111); e generalmente poi la differenza di pressione è misurata da quella di livello; conoscendo la densità del liquido contenuto nel tubo, si può in millimetri di mercurio valutare la differenza di pressione.

I *tubi di sicurezza* furono inventati da Welter: essi sono di un uso frequente in chimica, perciocchè impediscono le *esplosioni* e gli *assorbimenti*. Allorchè la interna pressione divien troppo debole, l'aria atmosferica spinge il liquido nella sfera ed entra nel recipiente: quando al contrario è troppo forte, essa caccia la colonna liquida e trova nel tubo uno sfogo.

Nel caso di pressioni fortissime si fa uso di un manometro simile a quello della macchina di compressione.

Archibugio pneumatico (*fig.* 117, 118, 119, 120). — Basta nominare questa macchina per intendere come sia congegnata. Il suo calcio contiene un serbatoio con animella nel quale si comprime l'aria sotto una pressione di otto o dieci atmosfere: vi si unisce una canna, nella quale si pone il proiettile, e che ne dirige il moto. Si fa scoccare un *grilletto* il quale premea l'animella: allora l'aria esce con impeto, urta la palla, e tosto l'animella si chiude. Si posson tirare più o meno colpi l'uno dopo l'altro, secondo il serbatoio sia più o meno grande. Lo schioppo ad aria può lanciar le palle con velocità pari a quella con la quale queste sono lanciate dagli schioppi a polvere. Nè senza rumore e senza fiamma cotesto effetto producesi: imperciocchè l'aria compressa, in un attimo espandendosi, fa un'esplosione simile a quella del crepa-vescica; e verso la punta della canna vedesi spesso uscir la fiamma, la quale sarà forse prodotta dallo sfregamento delle tenui polveri solide che l'aria incontra e trae seco, perocchè in un'aria purissima fiamma non si ravvisa.

CAPO VII.

DELL'EQUILIBRIO DE'CORPI GALLEGGIANTI E DE'CORPI IMMERSI NE'FLUIDI.

84. V'ha dei corpi ponderabili, i quali muovonsi in direzione opposta a quella della gravità: il sughero, il legno, e parecchi altri corpi, ascendono se sono immersi nell'acqua; il ferro similmente ascende se s'immerga nel mercurio; il fumo ascende nell'aria, le nubi si tengon librate nell'atmosfera, quasi nella stessa guisa che le navi si tengon galleggianti sulla superficie delle acque. Tutti questi fenomeni, del pari che quelli dell'*aerostatica* e dell'ascensione dei palloni, dipendono da un solo principio, conosciuto sotto il nome di

principio di Archimede, perciocchè Archimede ne fu l' inventore. È fama d' aver egli per questa scoperta provato un piacere sì grande, che uscendo dal bagno corresse per le strade di Siracusa gridando : *l' ho trovato, l'ho trovato.*

85. Il *principio di Archimede* può essere enunciato così: *un corpo immerso in un fluido, vi perde una parte del suo peso eguale a quello del fluido spostato.*

Per farsi una prima idea di questo principio generale, figuriamoci un gran vaso pieno d'acqua , e nell' acqua un cubo le cui facce di sopra e di sotto siano orizzontali. Da' principî d' Idrostatica si rende aperto: 1.º le pressioni laterali essere eguali ed opposte, e scambievolmente distruggersi; 2º. la superficie superiore soffrir di sopra in sotto una pressione eguale al peso della colonna liquida che sta sopra di essa; 3º. la superficie inferiore soffrire di sotto in sopra una pressione eguale al peso della colonna liquida che starebbe sopra di essa, se il cubo fosse anch' esso d' acqua. Questa seconda pressione supera la prima per quanto è il peso della colonna liquida che il cubo scaccia : il cubo dunque è spinto in alto con forza eguale a quest' eccesso di pressione ; dunque finalmente esso perde una parte di suo peso eguale al peso del volume del liquido scacciato.

La pressione da sotto in sopra diminuita della pressione da sopra in sotto dicesi *spinta del fluido*. Un corpo adunque immerso è spinto da due forze contrarie: dal suo peso che tende a farlo discendere, e dalla spinta del fluido che tende a farlo ascendere. Se coteste forze siano eguali, il corpo si terrà in equilibrio, ed avrà perduto tutto il suo peso. Se la spinta del fluido è la forza maggiore , il corpo sarà menato fin sulla superficie. Se questa finalmente è minore, il corpo scenderà al fondo del vase. Questa proposizione puossi direttamente dimostrare con la bilancia idrostatica, la quale altro non è se non una bilancia comune ordinata a pesare i corpi tenendoli nell' aria e poi tosto immergendoli in un fluido. Nella figura 123 *c* è un cilindro vôto di rame, la cui capacità si empia esattamente dal cilindro massiccio *p* : si pongono insieme in una delle coppe della bilancia , e nell' altra si pongon dei pesi *d* per ottenere l' equilibrio. Fatto tutto ciò: riducesi la bilancia in quiete, poi mercè due bottoni *b* e *b'* collocati a b sso della bilancia e mercè un' asta dentata interna si fa scendere l' asta con tutto il sistema fino a che il cilindro massiccio *p* resti interamente immerso nel vase d' acqua *v* che appositamente trovavasi preparato al di sotto. Allora rendendo libera l'asta si vedrà rotto l' equilibrio tra le due coppe; il cilindro massiccio non ha più lo stesso peso da che è stato immerso nell' acqua. Per mostrare ora che il medesimo ha perduto appunto un peso eguale a quello del fluido spostato, si empia d' acqua il cilindro cavo la cui capacità eguaglia perfettamente il volume del liquido spostato e l'equilibrio si vedrà perfettamente ricomposto.

Ecco un' altra dimostrazione del principio di Archimede la quale non dipende affatto dalla figura del corpo immerso.

Entro una massa fluida figuriamoci un volume qualunque , una sfera , per esempio , la quale abbia un metro di raggio. Supponiamo che le molecole d' acqua che son comprese in cotesto volume si consolidino per un momento, cioè che formino una sfera solida in vece di una liquida , e che nel consolidarsi non si avvicinino nè si allontanino fra loro , ma che conservino le posizioni e le distanze di prima. Egli è chiaro questa sfera solida dover rimanere in quiete come lo era la sfera liquida ; conciossiachè l' adesione che noi poniam tra le molecole non può nè sostenerle nè farle cadere, essa non induce variazione alcuna nè alle pressioni, nè alla gravità. Questa sfera solida e pesante ha perduto dunque tutto il suo peso, perciocchè essa non cade, e lo ha perduto perchè è circondata da un fluido che da tutte le parti la preme. Dall' insieme dunque delle pressioni eguali che operano sopra i diversi punti di sua superficie risulta una sola forza, diretta da sotto in sopra, eguale perfettamente al peso di tutta la sfera : questo ragionamento vale egualmente per un corpo di ogni altra figura.

Or sia quale si voglia la forma del corpo che si consolida , secondo la nostra supposizione; consolidato che sia, si potrebbe in ogni maniera girare intorno al suo centro di gravità , esso resterebbe in equilibrio in tutte le posizioni. Dunque la forza diretta da sotto in sopra, ovvero la *spinta del fluido*, è una forza il cui punto di applicazione è il centro di gravità del fluido consolidato ; questo punto è chiamato *centro di pressione*.

Se invece di supporre lo stesso fluido consolidato , ci figuriamo nell' interno del fluido un corpo estraneo di qualunque sostanza, come sughero, marmo, o ferro, è chiaro dover questo soffrire per parte del fluido che lo circonda le stesse pressioni di una massa fluida consolidata ed avente la stessa figura. La spinta dunque del fluido ed il centro di pressione, dipendono solo dalla quantità e dalla forma del liquido scacciato, ed in nessun conto dalla natura del corpo che lo scaccia.

Laonde un corpo immerso in un fluido è sempre sottomesso a due forze, delle quali già conosciamo le grandezze, le direzioni, ed i punti di applicazione: la prima di tali forze è il peso del corpo, e questa opera da sopra in sotto, ed è applicata al centro di gravità di sua massa; la seconda è la spinta del fluido, la quale opera dal basso in alto, ed è applicata al centro di gravità del fluido spostato. Quindi derivano le condizioni di equilibrio, di stabilità, o d'instabilità, che ci faremo a determinare.

86. *Condizioni di equilibrio ne' corpi immersi.* — Affinchè un solido immerso in un fluido sia in equilibrio, due condizioni son necessarie: 1°. che il peso del solido sia eguale a quello del fluido scacciato; 2°. che il centro di gravità del solido e quello del liquido scacciato siano nella stessa verticale. Tali condizioni si ricavano dalle cose finora discorse; ma possiamo con un esempio renderle anche più aperte. Nella figura 125, *a*, sia *lspn* una sfera composta di due parti; l'una *lsn*, di sughero, e l'altra *spn*, di piombo. Il suo centro di gravità sta in *g*, ed il suo peso è precisamente eguale al peso dell' acqua che essa può scacciare. Se questa sfera si situi nell' acqua in modo che la sezione *sn* sia verticale (*fig. b*), essa sarà assoggettata a due forze parallele uguali e contrarie, le quali faranno una coppia, cioè al suo peso *gv* ed alla spinta *cf* del fluido; e l'equilibrio non accaderà se non quando la coppia sia spiegata nel modo espresso nella figura *a*, o piegata sopra se stessa come nella figura *c*. Nel primo caso l' equilibrio è stabile, instabile nel secondo.

Se il corpo è omogeneo, il suo centro di gravità coincide col centro di pressione; ed allora sarà mestieri adempier solo la prima condizione di equilibrio, la quale si può anche esprimere dicendo, che il corpo ed il fluido che lo circondano debbono avere la stessa densità. Una pallina di cera si tien sospesa nell'acqua, va al fondo nell'alcool, e galleggia sul mercurio, perciocchè la sua densità è quasi eguale a quella dell'acqua, maggiore di quella dell'alcool, e di quella del mercurio minore di assai.

Sembra che i pesci siano in equilibrio nell'acqua nella quale essi vivono, perciocchè possono stare fermi in quella, senza essere tratti giù dal proprio peso, e senza esser menati a galla dalla spinta del fluido. E però un pesce pesa giusto quanto un volume d'acqua eguale al suo; peserà un chilogrammo se caccia un litro d'acqua, e mille chilogrammi se ne scaccia mille litri ovvero un metro cubico. Una balena lunga 20 metri, avente un volume di circa 500 metri cubici, peserà da circa 500 mila chilogrammi, ed anche un poco di più, essendo l'acqua marina dell'acqua dolce ancor più pesante.

Se conviene che i pesci sieno in equilibrio, non essendo stati fatti per mantenersi in continuo moto sulla superficie del mare, è mestieri anche che il loro equilibrio non sia nè labile, nè indifferente; è questa condizione è adempiuta da un organo speciale che serve anche per altri usi, giacchè nella composizione degli esseri organizzati non trovi una parte che sia ad un solo fine ordinata. Quest'organo è il notatoio, il quale sebbene nelle diverse specie abbia forme diverse, pure è sempre disposto in guisa da espandere le parti superiori restando alle inferiori maggior peso. In tal guisa il centro di gravità del corpo rimane al disotto del centro di pressione, e la condizione di stabilità è soddisfatta.

Secondo le osservazioni del signor Biot, il notatoio non contiene aria atmosferica, ma in que'pesci che vivono a poca profondità si trova piena di gas azoto quasi puro, di 0, 9 di ossigeno e di 0, 1 di azoto in quelli che vivono a profondità di 1000 a 1200 metri. Ad una profondità di 8, o 9 mila metri cotesti gas sarebber densi quanto l' acqua, ed il notatoio sarebbe inutile per l' equilibrio.

Pare che i pesci usino anche del notatoio per ascendere e discendere nell'acqua, il che difficilmente far potrebbero col solo mezzo delle loro pinne. Ma per ascendere e discendere usando del notatoio, basta solo che essi possano restringerlo o gonfiarlo a lor talento: perciocchè nel primo caso rimanendo il peso lo stesso e scemandosi il volume si rendono dell'acqua più densi e cadono al fondo; nel secondo caso per una ragion contraria debbono ascendere come il sughero.

Questo fenomeno frattanto non è sì facile, come a prima giunta potrebbe sembrare; perciocchè un pesce in mezzo all'acqua non può enfiarsi come un mammifero il quale respira: esso non trova aria da inspirare o da espirare; deve dunque con la stessa quantità di gas questi moti produrre. E però è mestieri che il gas, mercè un'azione volontaria, sia continuamente compresso più di quello che lo sarebbe dalla pressione del fluido circostante, e secondo la maggiore o minore energia di questa forza comprimente prende un minore o maggior volume (1). Il quale effetto rendesi aperto mercè il giocolino espresso dalla figura 121 cono-

(1) Potrebbe anche darsi che il pesce facendosi più verso il fondo, la stessa pressione del liquido

sciuto col nome di *diavolo di Cartesio.* Il diavolo *l* sale o scende secondo che si sollevi o si prema la membrana *ab* che chiude il vase, perocchè l'aria ch' esso contiene riceve la pressione del liquido circostante per una piccola apertura *v*; quando si preme la membrana *ab* tutto il liquido del vase si comprime un poco di più, entra nel fantoccio e restringe il volume dell'aria; e per contro quando la membrana si rialza il liquido è meno compresso, per cui l'aria interna del fantoccio con la sua forza elastica spinge il liquido facendone uscire una porzione per lo foro *v*, onde l'aria prendendo maggior volume il fantoccio ascende perchè è diventato più leggero.

Ne'pesci i quali si pescano ad una profondità di mille metri, il gas del notatoio è premuto come da cento atmosfere; giunto alla superficie tende a prendere un volume cento volte maggiore, onde osservasi tutta la forza muscolare non essere più sufficiente a contenerlo; esso si espande urtando tutti gli organi vicini, e particolarmente la membrana dello stomaco, la quale è talmente tesa e dilatata da formare dalla parte estrema della gola un' enfiatura molto singolare. Da ciò si può giudicare trovarsi nei mari abitatori diversi, non solo secondo la diversità de'climi, ma anche secondo le varie profondità.

87. *Condizioni di equilibrio dei corpi galleggianti.* — Vi sono pei corpi galleggianti come per quelli immersi le stesse due condizioni di equilibrio; solo la condizione di stabilità è diversa. Una nave, per esempio, la quale pesi un milione di chilogrammi, non si porrà in equilibrio se non iscaccerà prima mille metri cubici di acqua, e se il centro di gravità e quello di pressione non si dispongano nella stessa verticale. Ma per la stabilità non è punto necessario che il centro di gravità si trovi sotto del centro di pressione, essendo solo necessario che si trovi sotto un altro punto conosciuto col nome di *metacentro*, la cui determinazione troppo oltre ci menerebbe. La posizione del *metacentro* dipende dalla forma della nave, quella del centro di gravità poi dipende dalla distribuzione del carico; e dalla rispettiva distanza trae origine la rapidità delle oscillazioni. Per questa e per molte altre ragioni addiviene, che siavi un'arte che insegna a caricare i vascelli dando a'pesi un giusto ordinamento(1).

88. *Degli aerostati.* — Il principio di Archimede è vero non solo pei liquidi, ma anche pe'gas. I corpi immersi nei fluidi aerei vi perdon tanto di peso per quanto è il peso del fluido che scacciano. Se l'aria atmosferica fosse assai pesante, se pesasse per esempio il doppio o triplo dell' acqua, la maggior parte dei corpi terrestri sarebbero innalzati alla spinta di questo fluido, e noi stessi monteremmo su come il sughero nell' acqua. Ma l' aria è tanto leggiera, e fa perdere ai corpi sì tenue parte di lor peso, che solo un ingegno straordinario scerner potea la possibilità di elevarsi nell' atmosfera, tenervisi librato, e nuotarvi come si nuota nel mare (2).

Questa stupenda invenzione è dovuta ai fratelli Montgolfier. Avevano costoro annunciato, che una gran macchina di loro invenzione sarebbe atta a percorrere l' atmosfera, e nel 5

comprimesse il gas del notatoio agevolando la discesa, ed il contrario avvenisse allorchè va sotto la superficie dell' acqua.

(1) Coloro che desiderassero di conoscere in qual modo determinare si possa quel punto sotto il quale è mestieri che cada il centro di gravità del galleggiante perchè si abbia equilibrio, il quale punto fu detto *metacentro* dal Bouguer (*Traité du Navire*), potranno consultare l' Idrodinamica del Bossut. Ma non sarà fuori proposito fare qui intendere a' giovani come possa aversi la stabilità di un galleggiante, quantunque il centro di gravità del medesimo si trovi sopra di quello della pressione.

Supponiamo esser P (*Tav. agg. fig.* 33) un corpo galleggiante di figura convessa, e tale che due piani tra loro perpendicolari, i quali passino per lo centro G di gravità del medesimo, lo dividano ciascuno in due parti simmetriche. Se l' asse d' intersezione di questi piani sia verticale, il centro G di gravità del corpo ed il centro C di pressione si troveranno nell' asse medesimo. Supponendo che una delle sezioni, restando verticale l'altra, s'inclini (n.2), il centro G di gravità resterà fisso, e quello di pressione supponiam che passi in C': in questo caso apparisce essere il galleggiante tratto da due forze, l'una diretta secondo GS, l'altra secondo C' A, le quali costituendo una coppia, il corpo dovrà oscillando ritornare alla posizione di prima.

Poichè tanto pesa un solido galleggiante in un liquido per quanto un volume di questo liquido eguale alla parte del solido immersa, come è chiaro per le cose innanzi discorse, perciò misurando il volume della parte della nave immersa nell' acqua, e sapendo di questa la gravità specifica, si potrebbe agevolmente conoscere l' intero peso della nave.

(2) Pesando dunque corpi di diversa densità con bilancia anche esattissima, nel caso di equilibrio, non si avranno pesi eguali, perciocchè il corpo di minor densità avendo maggior volume perderà nell' aria maggior peso. E ciò può rendersi aperto per via di un' esprienza: agli estremi dell' asta di una piccola bilancia sensibilissima pendano un globo di sughero ed una palla di piombo in guisa che siano in perfetto equilibrio nell' aria; si ponga la sopradetta bilancia nella campana della macchina pneumatica, e se ne estragga l' aria: si vedrà tosto il globo di sughero preponderare.

giugno del 1783 seu faceva l'esperienza in Annonay alla presenza degli Stati Generali e d'una immensa moltitudine di gente; si vide allora nuovo spettacolo sulla Terra, da giustamente destare l'entusiasmo, cioè un globo di smisurata grandezza maestoso ascendere in alto, quasi da una mano invisibile tenuto vi fosse. Frattanto questa maniera di prodigio di leggieri s'intende. La *Montagolfiere*, chiamasi così quest'aerostato, è formata da un globo di carta verniciata o di taffettà, avente nella parte inferiore un'apertura di circa un piede quadrato. Alquanto più sotto di quest'apertura pende un paniere di fili metallici, poco pesante, entro del quale si pone un corpo combustibile, come sarebbe la paglia sminuzzata, la lana, o la carta. Acceso questo combustibile, l'aria che si riscalda, da se stessa ascende, entra nel globo e ne empie la capacità. E siccome a volumi eguali l'aria calda è dell'aria fredda meno pesante, così il peso del globo dovrà essere minore dell'aria che sposta, e però dovrà montar su per l'eccesso di forza della spinta del fluido: nell'ascender trae seco il combustibile acceso; il quale ingenera la forza di ascensione; e più non salirà quando sia giunto ad un'altezza nella quale l'aria dell'atmosfera sia di tanto rarefatta, che la differenza del peso dell'aria fredda spostata e dell'aria calda contenuta nel globo areostatico sia precisamente eguale al peso dell'invoglio, del paniere e del combustibile che questo ancora contiene.

Charles celebre fisico in quel tempo ancor giovane, e professore a Parigi, ebbe la felice idea di sostituire all'aria calda il gas infiammabile, che ora dicesi *idrogeno*, del quale il Cavendish nel 1766 avea fatto conoscere la somma leggerezza. L'Idrogeno è più di quattordici volte meno pesante dell'aria, perciocchè la sua densità è di 0,0688, presa quella dell'aria per unità. Un centimetro cubico d'aria pesa 0^{ch},001299075, e $1000^{m.c.}$ pesano 1299^{ch},075, nell'atto che $1000^{m.c.}$ di gas idrogeno pesano appena 89^{ch},760: la differenza è di 1209, 699. Onde un globo di mille metri cubici pieno di gas idrogeno può innalzare un peso di 1209^{ch},699; e tanto era grande il globo aerostatico che Charles fece fare; e per far conoscere la fiducia che inspirar dovea la sua scoperta, egli insieme con Robert intraprese quel famoso viaggio nel quale fu in pochi minuti elevato ad un'altezza di oltre a 1000 metri, e percorse in queste regioni dell'atmosfera in due ore più di nove leghe. Charles si elevava da mezzo della Tuillerie; tutto il popolo era in movimento: le pubbliche piazze, le sommità degli edifizi, e tutte le alture, eran piene di spettatori: un colpo di cannone annunziava la partenza, e tosto si vide il globo areostatico montare in alto qual meteora che dall'orizzonte s'inalza; alla maggiore altezza ancor si vedeano le banderuole spiegate sulle quali batteano i raggi del sole, ed i tranquilli naviganti che la terra salutavano Niuna esperienza di fisica destò mai ammirazione sì grande ed ebbe maggiori applausi.

Charles non dovea restare senza imitatori, ed in fatti n'ebbe in tutti i colti paesi.

Ma fra tutti i viaggi aerei intrapresi per fare scientifiche ricerche, si notano quelli eseguiti in Francia nel 1804 dai signori Gay-Lussac e Biot. Nella prima di tali ascensioni, questi due fisici, giunti all'altezza di 4000 metri, fecero importanti esperienze sulla elettricità e sulla temperatura di quelle alte regioni. La seconda volta poi il signor Gay-Lussac ascese egli solo fino all'altezza di 7000 metri, la maggiore cui l'uomo sia giunto (1). I signori de Humboldt e Bompland si elevarono fino a 6100 metri sul Chimborazo al di sopra del vulcano di Cotopaxi. In questa grande altezza si sente un freddo grandissimo, il termometro del signor Gay-Lussac si abbassò a 10° sotto zero, nell'atto che sulla terra segnava 30°. La secchezza dell'aria è sì grande, che i corpi igrometrici perdono sì presto il loro umido, che si veggon torcere e voltare per ogni verso. Il cielo si vede di un colore azzurro molto cupo misto di una tinta nera. Sospeso in mezzo allo spazio, in un'aria tanto rarefatta, ad una sì grande distanza dalla Terra o da ogni corpo resistente, non si ode alcun rumore, non si vede alcun oggetto, si ha un sentimento di solitudine che solo Gay-Lussac può descrivere. Dopo una navigazione di sei ore, nella quale avea percorse più di trenta leghe in linea orizzontale, il signor Gay-Lussac lentamente discese e venne a ritrovar la Terra presso Rouen. Diremo nei luoghi opportuni i risultamenti dei quali la scienza si è giovata mercè questo viaggio memorando (2).

(1) Pare che l'altezza cui giunse il nostro Brioschi fosse maggiore. V. *Comentarii Astronomici della R. Specola di Napoli* t. I.

(2) Ogni colta nazione di Europa ha preteso esser sua la gloria della invenzione degli aerostati, ma l'Italia a buon dritto la reclama, e perchè un Italiano ideava il primo aerostato, e perchè un altro il primo lo mandava ad effetto. Il P. Francesco Lana da Brescia ideava la sua *nave volante*, e Tiberio Cavallo dell'Accademia Reale di Londra, più di un anno prima che i fratelli Montgolfier offrissero alla Francia lo spettacol nuovo di un globo aerostatico

CAPO VIII.

PRINCIPJ D'IDRODINAMICA.

89. L'Idrodinamica generalmente considerata comprende tutto ciò che risguarda il moto de' fluidi, e però essa è una delle importanti branche della meccanica razionale. Ma in alcuni casi particolari il moto de' liquidi è soggetto a leggi tanto semplici, che possono esser dall'esperienza fermate: e noi sotto un punto di veduta puramente sperimentale ci faremo ad indicare i principii dell' Idrodinamica e la composizione di alcune macchine che ne dipendono.

90. *Condizione dello scolo de' liquidi, e teorema di Torricelli.* — Le pareti de' vasi che contengono i liquidi generalmente soffrono due opposte pressioni (*fig.* 130), l'una che opera di dentro in fuori spingendo le pareti, l'altra che opera per verso contrario quasi tendendo a farle penetrare nel liquido. La prima è la somma delle pressioni dovute alla colonna liquida che innalzasi dal punto della parete che si prende in veduta, ed al peso che premer potrebbe su questa medesima colonna; la seconda è la pressione atmosferica, o più generalmente la pressione del mezzo che circonda il vase. Facendo un buco o nel fondo o in una parete laterale, il liquido che trovasi in questo buco soffre quella stessa pressione che soffriva la parete della quale esso occupa il luogo; e però la sola condizione necessaria perchè esso scorra è che la interna pressione tendente a farlo scorrere sia maggiore della esterna che a questo efflusso si oppone. Si può, per altro, una tale verità con la seguente sperienza dimostrare. Un provino (*fig.* 126) essendo pieno d'acqua, se ne copra l'orifizio con un disco di carta, indi si capovolga, e si vedrà la colonna liquida restar sostenuta, perciocchè la pressione generata da sopra dal peso dell'acqua è minore della pressione che di sotto l'aria produce. Se l'orifizio del provino avesse un diametro non maggiore di due o tre millimetri, il disco di carta non sarebbe necessario: per gli orifizi maggiori il disco di carta impedisce alla colonna liquida di *dividersi*, cioè di far che l'acqua scenda da un lato mentre l'aria dall'altro ascende.

Allorchè il liquido sgorga da un foro mercè l'eccesso di pressione di cui abbiamo parlato, la *portata* (1) cioè il volume che esce in un dato tempo, è chiaro dipendere dall'ampiezza del foro e dalla velocità che portano le molecole liquide nello sgorgar da esso. Questa velocità poi dipende dalla densità del liquido, dall'eccesso di pressione prodotta sul foro, e dall'attrito che il liquido può soffrire tanto verso le pareti del vase quanto verso i margini del foro medesimo. Per indebolire l'attrito, che in questo caso è una forza perturbatrice, si soglion da prima cercar le leggi dello sgorgar dei liquidi da fori fatti *in sottili pareti*, cioè da fori praticati in lamine sottilissime adattate a grandi vasi, acciocchè il liquido abbia una picciolissima velocità verso le pareti del vase medesimo (2).

Sotto queste condizioni le leggi dello sgorgar de' liquidi son comprese nel seguente teorema, conosciuto sotto il nome di teorema di Torricelli: *Le molecole uscendo dal foro hanno quella stessa velocità che avrebbero acquistata se fossero cadute liberamente nel vòto da un'altezza eguale all'altezza di livello computata dal centro del foro.* Vedrem tosto come l'esperienza può verificare questa legge fondamentale, con le tre seguenti illazioni che ne derivano.

Primieramente. *La velocità di scolo dipende unicamente dalla profondità del foro al di sotto della superficie di livello, ed in nessun conto dalla natura del liquido;* perciocchè tutt'i corpi cadendo nel vôto dalla stessa altezza acquistano la stessa velocità. Laonde l'acqua ed il mercurio ricevono la stessa velocità quando sgorgan da fori i quali trovansi egualmente lontani dalla superficie di livello. Frattanto il mercurio è spinto da una pressione molto più grande di quella dell'acqua. Se il foro, per esempio, si trovi al di sotto della linea di livello per 32 piedi, l'acqua sarebbe spinta dalla pressione di un'atmosfera, nell'atto che il mercurio sarebbe spinto dalla pressione di 13 atmosfere e mezzo.

Secondo. *Le velocità con le quali sgorga uno stesso liquido, son come le radici quadrate delle*

ad aria rarefatta, ne innalzava uno pieno di gas idrogeno del diametro di tre o quattro piedi.

Poichè si videro i vantaggi che ritrar si poteano dagli aerostati, si andò tosto pensando alla maniera di regolarne la direzione, e quantunque mille tentativi si facessero, pure nessun pensiere rimase dal buon successo coronato. Ciò non pertanto alcuni, facendo tesoro delle nuove scoperte, van proponendo altri mezzi dai quali sperar si possa una felice riuscita. Consiglio gli studiosi a consultare l'opera del sig. Costa intitolata *Saggi sull' aerostatica e sull' aeronautica.*

(1) Uso la voce *portata* sull'esempio di parecchi scrittori d'Idraulica per tradurre la voce *dépense* del testo.

(2) V. il supplimento che segue.

altezze di livello al di sopra de' fori; perciocchè le velocità de' gravi cadenti son come le radici delle altezze dalle quali cadono. Onde in un vase, per esempio, alto 100 piedi, se si facessero due fori, uno sotto la superficie di livello per un piede, e l'altro presso al fondo, cioè per 100 piedi sotto la superficie medesima, la velocità con la quale il liquido sgorgherebbe da quest'ultimo, sarebbe di quella del primo solo 10 volte maggiore, nell'atto che la seconda pressione sarebbe 100 volte maggiore della prima.

Da ultimo. Se la pressione che avviene al sommo della colonna liquida fosse maggiore della pressione esterna che si oppone allo scolo, cotesto eccesso di pressione sarebbe eguale al peso di una colonna dello stesso liquido di una determinata altezza, ed allora la velocità delle molecole che scorrono, sarebbe eguale a quella che esse avrebbero acquistata cadendo dalla sommità di questa seconda colonna, che è mestieri considerare come soprapposta alla prima. Il contrario avverrebbe se la esterna pressione superasse quella, che avviene sopra la colonna.

91. ***Diversi mezzi per avere una costante pressione.*** — Per verificare le leggi precedenti in una maniera semplice e rigorosa, è mestieri conseguire una pressione costante verso il foro, ed in conseguenza serbare una costante pressione sul liquido che scorre. Questo si ottiene in varie guise; ma noi ci restringeremo solo ad indicare i tre seguenti mezzi: il *vase a ribocco* (trop-plein), il *galleggiante del signor Prony*, ed il *vase di Mariotte*.

Vase a ribocco (*fig.* 127) *r* è un serbatoio ordinato a somministrare acqua, *s* è un'animella, *t* un tubo, *v* il vase dal quale dee sgorgare il liquido, *o* l'orifizio, *c* una cassa forata da piccoli buchi, e *d* un risciacquatoio. Per mezzo dell'animella *s*, che più o meno si alza, si fa giunger nel vaso *v* un poco più di acqua di quel che ne scorre per l'orifizio *o*; il risciacquatoio serve a rigettare l'acqua che soperchia; il tubo *t* è la sua cassa son destinati ad impedire l'agitazione che l'acqua cadendo potrebbe ingenerare, perciocchè i più piccoli moti, ancorchè avvenuti nella superior superficie, possono far variare la velocità del liquido nel foro.

Galleggiante del signor Prony (*fig.* 132). Questo strumento è composto da un vase di scolo *v*, da una cassa galleggiante *c*, da una cassa inferiore *c'*, da varie verghe di ferro *t* le quali uniscono le due casse, e da un imbuto *n* ordinato a menare nella sottoposta cassa tutto il liquido che sgorga dal foro *o*. Se si prendan, per esempio, nel vase *v* dieci litri d'acqua e si versino nella cassa *c*, il livello *v* non si cambierà, perciocchè la cassa renduta in questo caso più pesante di dieci chilogrammi, rimoverà nel vase *v* dieci litri d'acqua di più. E però con l'aggiunger acqua nella cassa si fa salire di tanto il livello per quanto si abbassa col torre l'acqua dal vase: ma se si versi l'acqua nella cassa *c'*; si conseguirà lo stesso risultamento, perciocchè si produrrà nel sistema lo stesso aumento di peso; adunque per avere, mentre il liquido scorre, sempre lo stesso livello, basterà innanzi all'orifizio *o* porre un imbuto *n* che porti nella cassa *c'* tutto il liquido che scorre per l'anzidetto foro.

Vase di Mariotte. Questo è espresso dalle figure 133 e 134. *t* è un tubo il quale può scorrere nel turaccio del recipiente *b*, ed il cui estremo inferiore è successivamente o abbassato in *p* al disotto del livello *nv* dell'apertura laterale o rialzato in *h* al di sopra del livello medesimo; l'apertura laterale è stretta in maniera che la colonna liquida non si possa dividere. Stando il tubo in *p* (*fig.* 133) pieno interamente d'acqua del pari che la boccia, è chiaro dovere il liquido scorrere per lo forame laterale *v*, perciocchè la interna pressione risulta dalla pressione atmosferica prodotta sulla sommità del tubo e dalla pressione dovuta al peso della colonna liquida *sn*, nell'atto che la pressione esterna è la sola pressione atmosferica. Ed in fatti il liquido sgorga, ed il livello entro del tubo rapidamente si deprime, dal punto *s* fino al punto *n*, ivi si ferma, ed il liquido più non iscorre. Il vase rimane pieno, l'orifizio *v* rimane aperto, e frattanto neppure una goccia d'acqua si vedrà più uscire. Sulla intera sezione orizzontale *n'nv* la pressione essendo la stessa di quella in *n*, cioè di una pressione atmosferica, non v'ha ragione perchè il liquido debba scorrere tuttavia. Sopra un'altra sezione come *c'c* la pressione non è solo dovuta al peso della colonna superiore, ma è eguale ad una pressione atmosferica diminuita della colonna *c'n'*. Si faccia intanto scorrere il tubo per farlo ascendere in *h*, tosto comincerà il liquido a sgorgare, all'estremo inferiore del tubo si formeranno delle bolle d'aria, le quali si vedranno enfiare, staccarsi ed ascender su l'una dopo l'altra verso la parte superiore del vase. In questo modo lo scorrere continua con una *velocità costante* in tutto il tempo in cui il livello del liquido discende dalla sommità del vase fino ad *h*; perciocchè la pressione sulla sezione *n'no* allora si compone dalla pressione atmosferica che opera in *h* e dalla pressione dovuta al peso del-

la colonna hn, pressioni le quali rimangono costanti fino a che il livello non sia giunto in h: ma da questo momento la velocità di scolo va scemando gradatamente, finchè diviene interamente nulla allorchè il livello è giunto in n. Il vase di Mariotte può ricevere svariatissime forme, può avere un foro laterale per lo scorrimento del liquido, o un foro orizzontale, come sta espresso nella figura 134.

92. *Mezzi per verificare con l'esperienza il teorema di Torricelli.*—La velocità v delle molecole cadute nel vôto per la libera verticale da un' altezza a, è espressa dalla formola

$$v=\sqrt{2ag},$$

la quale ricavasi dalle formole generali del moto de' gravi (§ 40) (1). D' altronde abbiam veduto (§ 50) a Parigi esser g=9m,8088. Onde.

$$v=4^{m},429\sqrt{a}.$$

Questa è dunque la velocità che secondo il teorema di Torricelli debbon portare i liquidi uscendo da un foro il cui centro stia sotto la superficie di livello per una distanza a, essendo a espressa in metri: questa dicesi la *velocità teorica*. Per verificare questo risultamento, basterà dunque di preparare un vase a livello costante, dal quale il liquido esca per un foro di un' ampiezza conosciuta s fatto in una parete sottile, il cui centro sia per un numero a di metri sotto al livello, osservar poi la *portata* o il numero de' litri che escono in un dato tempo, per esempio in 8' o 10'; allora facil riesce il dedurne la *portata* p in 1", espressa in metri cubici: questa portata, o piuttosto questo volume, può esser considerato come un cilindro il quale sia passato per lo foro quasi in quella stessa guisa che un filo passa per la filiera: chiamando dunque v' la lunghezza incognita del cilindro, si avrà

$$sv'=p, \text{ ossia } v'=\frac{p}{s},$$

la sezione s del foro essendo anche espressa in metri quadrati: ora è chiaro v' esprimere la *velocità effettiva* delle molecole liquide, perciocchè essa esprime il numero di metri che queste molecole realmente percorrono in 1".

Agevole dunque riesce il vedere se la velocità effettiva data dalla formola

$$v'=\frac{p}{s}$$

sia eguale alla velocità teorica data dalla formola

$$v=4^{m},429\sqrt{a}.$$

Esperienze comparative sonosi fatte sul proposito da un numero grandissimo di osservatori, e tutt' i risultamenti ci menano a conchiudere all' orifizio la velocità effettiva esser circa due terzi della velocità teorica. Quindi il teorema di Torricelli, sebbene poggiato sopra semplicissime considerazioni meccaniche, sembrerà a prima giunta non esser punto dalla sperienza fermato. E pure i risultamenti si metton d'accordo qualora si ponga mente alla *contrazione della vena fluida*. E per fermo la vena fluida uscendo dall' orifizio si contrae, vale a dire scema rapidamente di sezione, di tal che ad una distanza pressochè eguale al diametro dell' orifizio, la sua sezione è circa due terzi di quella dell'orifizio medesimo. Per molto tempo si è creduto che oltre di questo limite la vena riprendesse una maggior sezione, e che però essa avesse un *massimo di contrazione;* ma il signor Savart ha ultimamente dimostrato (*Ann. de Phys. et Chim. t*, 54, *p.* 337) non esservi un massimo di contrazione se non per le vene che sono spinte di basso in alto, ed in ogni altro caso scemar la sezione della vena fluida dal punto di uscita fino a che non si altera e si divide, come di corto vedremo: se non che la contrazione da prima procedendo con rapidità, scemasi alquanto, dopo aver corso uno spazio eguale presso a poco al diametro dell' orifizio.

Se dunque invece di considerare la velocità delle molecole fluide nel foro stesso, si consideri nella sezione della vena poco lungi dal medesimo, cioè dove la contrazione comincia a scemare, s' intenderà esser quella tanto più grande per quanto più piccola è la sezione, o che vale lo stesso, essere le velocità in ragione inversa delle sezioni, perciocchè la stessa quantità di liquido deve nello stesso tempo passare. Per la sezione dunque della quale si tratta, la velocità effettiva è in conseguenza eguale alla velocità teorica (2).

(1) Queste formole sono $v=gt$, ed $s=\frac{gt^2}{2}$, dalle quali eliminando t, si ha $v=\sqrt{2gs}$; e siccome s in questo caso è espresso da a, così si avrà $v=\sqrt{2ag}$.

(2) Se in un vase prismatico pieno d' acqua la quale sgorghi per piccolo foro fatto nel fondo del medesimo si gittino de' corpicciuoli più pesanti dell' acqua, questi si vedranno discendere verticalmente fino a che non sian giunti al di sopra del foro

Dimostrato il teorema di Torricelli, agevole riuscirà l'intendere come debbansi i descritti vasi disporre per rendere aperte le tre illazioni che ne abbiamo ricavate, e per far conoscere anche come il getto prenda una *curvatura parabolica* allorchè esce per un foro laterale sotto varie inclinazioni (1).

93. *Costituzione della vena fluida.* — Erasi già da gran tempo osservato comporsi una vena fluida di due parti distinte, l'una vicino all'orifizio placida e trasparente simile ad una verga di cristallo, l'altra più lontana agitata e come composta di gocce staccate; ma il signor Savart poi ha fatto una disamina compiuta, e degna di esser con diligenza considerata, della vera costituzione della vena fluida e delle diverse apparenze che presenta. Ci duole di non potere qui estenderci oltre di un riassunto assai breve delle sue belle osservazioni.

La figura 142 rappresenta una vena fluida, spinta di sopra in sotto, nel modo come suolsi presentare allo sguardo; *an* è la parte fissa, *nvc'* è il cominciamento della parte agitata, la quale sembra alternativamente enfiata e contratta. La figura 143 indica l'antecedente vena fluida come veramente è formata: tutta la parte agitata è composta di gocce l'una dall'altra separate e distinte: l'enfiature son formate da gocce larghe ed orizzontalmente depresse, i nodi al contrario da gocce verticalmente allungate. Siccome poi avviene che l'enfiature e le contrazioni si tengono nelle stesse posizioni, così è forza che la stessa goccia *a* depressa nell'enfiatura si allunghi giungendo dove apparisce il primo stringimento *n'*, poi di nuovo si renda depressa al secondo enfiamento, allungata al secondo nodo ec.; è mestieri dunque che essa soffra delle vibrazioni periodiche e sommamente regolari, mercè le quali passi dall'una all'altra forma. Sembra che tutte le gocce abbiano lo stesso diametro e soffrano le medesime mutazioni: pur tuttavolta sembra tra due gocce consecutive trovarsene un'altra molto più piccola, la quale per un effetto della visione fa che l'enfiature appariscano come se fossero penetrate da un tubo.

Il signor Savart ha egualmente dimostrato, ciascuna goccia esser prodotta da un rigonfiamento anulare il quale prende origine vicino al foro, e procede sulla parte limpida della vena, crescendo sempre di volume fino a che non se ne stacca; esservi per conseguenza anche nel foro una successione periodica di *pulsazioni*, ed il numero di queste essere in ragion diretta della velocità dello scorrimento, ed in ragion reciproca del diametro del foro. Le pulsazioni delle quali si parla sono talmente rapide e regolari, da potere ingenerare un suono particolare; e se con una campana o con uno strumento di musica si produca poco lungi il suono medesimo, o un suono prossimo, si vedrà nella vena un notevole cambiamento, ancorchè sia spinta da sotto in sopra (*fig*: 136 e 137): l'enfiature e le contrazioni in miglior ordine si disporranno, occupando anche la parte trasparente la quale quasi nulla diviene; la portata intanto rimane la stessa. La forma e la dimensione della vena, non che il numero delle pulsazioni, non soffrono alcun mutamento dalla presenza dell'aria.

Tutto ciò è vero pe' getti d'acqua spinti in direzione orizzontale od obbliqua, da sotto in sopra o al contrario, purchè l'inclinazione non sia minore di 45°, perciocchè da questo limite la vena comincia ad avere un massimo di contrazione tanto più considerabile per quanto più lo zampillo si avvicina alla verticale.

Ma se i fori non sian rotondi, la vena mostrerà delle varietà di forma considerabilissime, le quali sono state osservate con diligenza particolarmente da' signori Poncelet e Lesbros. In un foro quadrato, per esempio, che abbia 20 centimetri di lato, le sezioni della vena fatte alle distanze di 20, 30, 40 centimetri sono espresse nella figura 139: il n. 1 è il foro, ed

ad un'altezza di circa tre raggi del medesimo: quindi si vedranno prendere un moto vorticoso verso il foro anzidetto, descrivendo curve, le quali ci dimostrano formar la corrente presso il foro, che suppongo assai stretto, una conoide molto convergente, la cui altezza è di tre raggi del foro, ed ha per base superiore la sezione del vaso, e l'area del foro per base inferiore. A questa conoide si dà il nome di *gorgo*. Questo avviene anche quando il foro sia fatto nella parete del vaso. Se poi sull'acqua si trovi uno strato d'olio, allora giunta la superficie di livello alla indicata altezza, l'olio o qualunque altro liquido leggiero che siasi posto sull'acqua accorrerà verso il foro, ed il gorgo si vedrà come un fosso o imbuto sulla superficie del liquido. Se il foro sia fatto in una lamina sottile, si vedrà la contrazione della vena fluida quasi come una continuazione dell'anzidetta conoide. La sezione della vena nel suo massimo ristringimento, la quale dicesi *sezione della vena contratta*, è lontana dal foro per un raggio circa del medesimo, e la sua ampiezza è a un dipresso i cinque ottavi di quella del foro. Onde volendo calcolare la portata effettiva, uopo è prendere i $\frac{5}{8}$ della portata teorica: conciossiacchè conviene considerare come se il liquido sgorgasse da un foro grande quanto la sezione della vena contratta.

(1) V. Bossut, Hydrod. § 485.

i n. 2, 3 e 4 sono le sezioni considerate alle distanze di 20, 30 e 40 centimetri dall'orifizio. La parete essendo verticale la direzione della vena era da prima orizzontale. Il punto *h* indica sempre la parte di sopra; agevole riesce il figurarsi le forme intermedie e di farsi l'idea del singolare rilievo di questa vena parabolica.

94. *Delle cannelle, e degli effetti delle medesime sullo scorrimento de' liquidi.* Si dicon *cannelle* (1) alcuni tubi di varie forme, o alcune lamine curve variamente perforate, che si adattano a'fori fatti in sottili pareti, per farne uscire il liquido.

Il più semplice è quello che ha precisamente quella forma che prende la vena dal foro sino alla sezione contratta. Se questa sia diligentemente fatta, ed abbia la superficie interna ben levigata, non produrrà sulla portata verun divario.

Facendo un foro in una parete curva, non si ha la stessa portata che si avrebbe se questo si trovasse in una parete piana: si ha maggiore se la concavità è rivolta in dentro (*fig.* 140), minore se è rivolta in fuori (*fig.* 141).

Un singolare fenomeno avviene poi nelle cannelle cilindriche, le quali abbian lo stesso diametro de'fori fatti in sottili pareti, ai quali queste cannelle siano adattate: alle volte la vena fluida riman *libera* e passa per la cannella senza toccarla, alle volte rimane *aderente* ed il liquido sgorga a *bocca aperta*, cioè a condotto pieno. Nel primo caso la cannella non ingenera alcuna alterazione di velocità o di portata: essa non può produrre alcun effetto, perciocchè il liquido non la tocca per nulla. Nel secondo caso l'adesione tra la vena e le pareti del condotto ingenerano un accrescimento di velocità e di portata. La portata del primo caso è a quella del secondo come 100 a 133, purchè il diametro della cannella sia circa la quarta parte della lunghezza della medesima. Questo fenomeno dipende da molte cagioni, e principalmente dalla pressione: sotto una debole pressione la vena è sempre aderente, ancorchè cortissime siano le cannelle; sotto pressioni fortissime la vena si tiene libera; e sotto medie pressioni si può avere ad arbitrio lo scorrere a vena libera o a vena aderente, un piccolo ostacolo essendo sufficiente ad ingenerare l'adesione, e sovente un picciolo urto può staccar la vena dalle pareti della cannella e farla liberamente scorrere.

Allorchè avviene l'adesione, la vena fluida si contrae nella cannella presso alla parete, in quella guisa appunto che sarebbesi contratta all'aria aperta (*fig.* 128); si può restar di ciò pienamente convinto adoperando un tubo di vetro, ed anche dando alla cannella quella stessa forma che prenderebbe la contratta (*fig.* 129; con questo stringimento la portata sarà ancora 133 come prima.

Una cannella conica può dare una portata anche maggiore della cannella cilindrica.

Se vi son cannelle le quali aumentano la portata, è agevole il farne di quelle che la diminuiscono moltissimo. Ogni rigonfiamento in una cannella conica o cilindrica produce una diminuzione di velocità: i ringorghi, i rivolgimenti, gli urti delle molecole animate da contrari moti, ingenerano una grande complicazione di fenomeni, e per ultimo risultamento grande diminuzione nella portata.

Ne'tubi di picciolissimo diametro, i liquidi più non iscorrono, tutto che si trovin sotto pressioni sovente ben forti: così il mercurio finisce di scorrere per un tubo lungo 357 millimetri, avente il diametro 1^{mm}, 12, sotto la pressione di 9^{mm}.

95. *Della unità di misura nella distribuzione delle acque.* — L'unità di misura per le acque correnti è conosciuta sotto il nome di *pollice del fontaniere*, o pollice d'*acqua*. Questa è la quantità di acqua che scorre in un minuto da un foro circolare di un pollice di diametro fatto in parete verticale, stando in livello sette linee al di sopra del centro del foro. Il volume d'acqua che scorre in questo caso è di 14 pinte antiche di Parigi, ossia 672 pollici cubici per ogni minuto, il che riducesi a $19{,}2^{met.cub}$ in 24 ore. Un mezzo pollice di acqua è la quantità che ne scorre da un foro di mezzo pollice di diametro il cui centro sia parimente sotto la pressione di sette linee: d'onde segue che il mezzo pollice, considerato a volume o a peso è veramente un quarto di pollice; perciocchè sotto la stessa pressione un foro che abbia il diametro quanto la metà di un altro deve dare una portata che sia la quarta parte della portata di quello (2). Una *linea* d'acqua sarà, per la stessa ragione, la 144ma

(1) Si dicono anche tubi addizionali (*ajoutages*).

(2) La ragione di ciò di leggieri si comprende, sapendosi le ampiezze o le superficie de' fori circolari essere fra loro come i quadrati dei diametri: onde essendo i diametri de' due fori come $1 : \frac{1}{2}$ saranno le ampiezze come $1 : \frac{1}{4}$, e quindi nella medesima ragione le quantità di acqua che escono dai medesimi, poste tutte le altre cose eguali.

parte del pollice, ovverò $\frac{19,2^{m.c.}}{144}$ in 24 ore.

Sembra che la quantità di acqua che giornalmente scorre a Parigi sia di circa 10mila metri cubici, il che importa 15 litri a persona.

96. *Delle pressioni laterali che producansi da' liquidi in moto.* — Un liquido che scorre per cannelle o condotti esercita contro le pareti una pressione sempre minore di quella che produrrebbe se fosse in quiete. Daniele Bernouilli esprime cotesta pressione che ha luogo durante il moto con la formola $h-h'$.

Per intendere questa formola consideriamo l'attuale velocità delle molecole nella sezione perpendicolare all'asse del tubo o condotto nella quale si vuol misurare la pressione: cotesta velocità è dovuta per lo teorema di Torricelli ad una certa altezza di livello ch'è il valore di h'. Supponiamo poi che il condotto sia tagliato secondo questa sezione, di modo che restando aperta divenga essa stessa il foro di scolo: il liquido prenderebbe allora una certa velocità, ed il valore di h dinota l'altezza della colonna liquida che sarebbe capace di produrla. Questo valore di h non è forza che sia eguale alla vera altezza di livello al di sopra del centro della sezione; esso può essere alquanto minore per effetto della contrazione, o alquanto maggiore a cagione de'condotti. Se h' si trovi eguale ad h, la pressione è nulla, e le pareti non soffrono alcuno sforzo. Se h' è maggiore di h, la pressione è negativa, cioè invece di una pressione sulle pareti del tubo si ha un vero *succiamento*.

L'esperienze, mercè le quali la formola del Bernouilli si è verificata finora, non sono nè molte nè abbastanza precise da poter meritare una piena fiducia. Il fenomeno intanto del succiamento dalle medesime dimostrato è un fatto da notare, e sul quale non cade dubbio veruno: esso fu conosciuto prima dallo stesso Bernouilli, e poscia dal Venturi e dal signor Hachette più particolarmente studiato.

Ecco in quali casi esso avviene.

Abbiamo veduto che la portata di un tubo cilindrico nel caso della vena aderente, è maggiore di quella di un foro dello stesso diametro fatto in una lamina sottile: la velocità effettiva dunque è maggiore della teorica, e quindi h' è maggiore di h, dal che segue il fenomeno del succiamento.

E in vero, se si faccia un foro nella cannella e vi si adatti un tubo ricurvo come xy (*fig.* 127), il liquido ascenderà in esso, e l'altezza della colonna liquida innalzata sarà la misura della forza *inspirante*. Avendosi una portata anche maggiore da una cannella a doppio cono, maggiore dovrà essere eziandio il succiamento, il che dall'esperienze del Venturi è perfettamente confermato.

97. *Della reazione ingenerata dallo sgorgar dei fluidi.* — Immaginiamoci un vase avente la figura di un cubo accomodato sopra mobilissime rotelline e posto in un piano orizzontale che presenti il minore attrito possibile. Il vaso essendo pieno di liquido starà fermo, perchè premuto egualmente da tutt'i lati; ma perforando in guisa da far che il liquido sgorghi da un lato, esso sarà respinto per lo verso opposto, e rinculerà come le armi da fuoco e gli schioppi pneumatici (§ 30). Cotesta reazione si appalesa chiaramente nel così detto *arganello idraulico* (*fig.* 134 *bis*). Esso è composto di un serbatolo v mobile intorno di un asse verticale avente nella parte di sopra una chiavetta r, aprendo la quale l'arganello anzidetto si muove. E per fermo, i getti d'acqua uscendo in questo caso da tubi orizzontali ripiegati t, t', ed essendo diretti secondo le tangenti del cerchio descritto dagli estremi di questi tubi, la loro reazione forma una coppia che ingenera nell'arganello un rapidissimo moto di rotazione.

Si è per lungo tempo creduto sull'autorità del Newton, che la forza di cotesta reazione pareggiasse quella del peso di una colonna liquida avente per base la sezione contratta e per altezza l'altezza di livello. Ma Daniele Bernouilli ha dimostrato esser la forza suddivisata eguale sempre al peso di una colonna liquida che abbia la base quanto la sezione contratta della vena che scorre e l'altezza quanto il doppio dell'altezza di livello. Sopra questo principio è fondata la ruota idraulica conosciuta col nome di *turbine*, dalla quale si trae molto utile dopo gli ultimi perfezionamenti che il signor Fourneyron le ha recati.

98. *Zampilli.* — V'ha de'zampilli che montan su verticalmente, ve n'ha di quelli che escon riuniti come in un fascio descrivendo poscia delle parabole di ampiezze diverse. Gli orifizi da' quali escono i primi sono in pareti orizzontali, ed in pareti variamente inclinate si fanno i fori da' quali uscir debbono i secondi. La direzione dello zampillo è sempre effetto della gravità che opera verticalmente e della pressione o forza impulsiva che è perpendicolare alla parete. Essendo vero per lo teorema di Torricelli, che le molecole liquide hanno nel foro dal quale sgorgano quella velocità che avrebbero acquistata cadendo da un'altezza eguale a quella del livello del liquido nel riserbatoio; segue che se tale velo-

cità fosse diretta dal basso in alto, essa sarebbe valevole a far risalire le molecole fino all' altezza di quel livello dal quale si considerano discese. Laonde l' altezza dello zampillo verticale dovrebbe essere sempre eguale alla elevazione del liquido al di sopra dell' orifizio: ma parecchie cagioni impediscono alle acque zampillanti di giungere a quest' altezza teorica: esse soffrono l' attrito verso le pareti dei condotti pe' quali dal serbatoio giungono all' orifizio, e verso i margini dell' orifizio medesimo verso i quali passano con molta velocità; soffrono di più la resistenza dell' aria, e finalmente l'acqua che giunta al punto di maggiore altezza ricade, incontrando quella che ascende, deve ritardarne il moto. Affinchè tutte queste resistenze sian ridotte ad avere la minore possibile efficacia, suolsi nella pratica por mente alle seguenti regole:

1°. Si dà a' condotti un diametro il quale dipende dalla loro lunghezza, dall' ampiezza dell' orifizio e dall' altezza del riserbatoio: in guisa che la velocità dell' acqua nei condotti non oltrepassi i 2 o 3 decimetri per ogni secondo.

2°. L' orifizio si fa rotondo in una lamina sottile che dicesi *piastra:* la piastra è piana, o curva in forma di cupoletta, secondo che si voglia un solo zampillo verticale o un fascio di zampilli parabolici.

Le cannelle cilindriche o coniche producono lo zampillo meno alto de' fori fatti in lamine sottili.

Qualora siasi a tutto questo provveduto, si suole tenere per fermo, in conseguenza delle esperienze di Mariotte, lo zampillo elevarsi all' altezza di 5 piedi se l' acqua nel serbatoio sia all' altezza di 5 piedi ed 1 pollice; ed in generale aversi l' altezza del riserbatoio, se all' altezza a dello zampillo misurata per piedi si aggiungan tanti pollici per quante unità si contengono nel quadrato di $\frac{a}{5}$. Così uno zampillo di 100 piedi suppone un riserbatoio di 100 piedi e 400 pollici, ossia di 133 piedi e 4 pollici.

99. *Dell' urto di una vena fluida contra un corpo solido.* — Il signor Savart ha pubblicato sul proposito un grande lavoro (*Ann. de Phys. et de Chim. t.* 54), dal quale ricaveremo i più elementari risultamenti.

Figuriamoci un tubo alto 2 metri del diametro di un decimetro, situato verticalmente, ed avente nella parte inferiore un buco circolare di 10 in 12 millimetri di diametro fatto in una lamina sottile. Supponiam che cotesto foro si apra dopo aver pieno il vase di acqua, e che invece di far correre la vena liberamente le si presenti alla distanza di 20^{mm} dal foro anzidetto un disco di metallo di 27^{mm} di diametro, la cui superficie sia piana e forbita, ed il cui centro corrisponda direttamente sotto quello del foro (*fig.* 144). Allora la vena fluida presenta i seguenti fenomeni:

1.° Essa si apre sul disco, prende l' aspetto di un *nappo* quasi conico, la cui parte centrale *ab* è sottile, levigata e trasparente, laddove la zona esterna *aa'*, *bb'* (n. 1 e 2), è quasi opaca, solcata da alcune scanalature circolari, e da altre dirette in forma di raggi le quali spruzzano intorno una moltitudine di piccoli getti o piccole gocciolime che cadono in forma di pioggia. Cotesta zona è come l' *aureola* del nappo trasparente, ed il loro insieme forma un *nappo aureolato.* I nappi di questa maniera hanno delle periodiche *pulsazioni*, vale a dire si alzano e si abbassano un poco, ed in pari tempo crescono e scemano di diametro: le pulsazioni hanno tale celerità da poter produrre un suono.

2°. Scemandosi la pressione coll' abbassarsi del livello nel tubo, cresce l' intero diametro del nappo, ma l' aureola si rende minore; di modo che sotto la pressione di 60 in 62 centimetri, l' aureola sparisce, ed il nappo acquista una compiuta trasparenza ed il maggior diametro, n. 3.

3°. Dopo che il diametro è giunto a questo massimo, il nappo comincia a scemare, divien curvo e rotondo, e sotto la pressione di 32 in 33 centimetri si chiude interamente, n. 4; in questo caso il suo diametro è di 40 in 45 centimetri.

4°. Diminuendosi sempre più la pressione, il nappo si tien chiuso, ma si va facendo sempre di minor diametro, fino alla pressione di 10 in 12 centimetri; da questo punto muta rapidamente di aspetto, si rialza sul disco, n. 5, poco dopo riprende la forma di prima, n. 6, indi un' altra volta si rialza; così per 7 o 8 volte passa da una forma all' altra, sempre decrescendo in volume fino a che interamente sparisce.

Questo notevole fenomeno non potendo per molto tempo esser sottoposto all' osservazione, mercè di un semplice tubo nel quale il livello del liquido continuamente si abbassi, il signor Savart ha ideato un mezzo per mantenere una data pressione per quel tempo che l' esperienza richiede, e questo è quello che ci faremo a descrivere.

tt' (*fig.* 138) è il tubo al cui estremo inferiore in una lamina sottile si adattano le can-

nelle espresse sotto la figura 138 n. 2 e 3. Questo tubo è alto 4^m, 5, ed ha il diametro di 54^{mm}; il suo estremo superiore s' immette nel fondo di un riserbatoio, dove il livello è tenuto sempre alla stessa altezza mercè un sifone a chiavetta il quale versa il liquido nella cassa *e*, e per mezzo del risciacquatoio *d*; una grossa chiavetta *r* corredata di un'asta e di un manico *s* serve a convenevolmente moderare la quantità di acqua che il riserbatoio somministra al tubo; da ultimo per graduare la pressione, il tubo *tt'* porta una specie di manometro *mnopq* fatto nel modo seguente: le parti *mnopq* sono di vetro, la parte intermedia *no* è di rame; un buco *h* fatto lateralmente a questa, verso la sua parte inferiore, il quale si chiude con un cavicchio, serve a porre o a torre a piacimento la comunicazione con l'aria esterna; si versa del mercurio fin che giunga quasi alla metà dell'altezza delle due braccia *op*, *pq*. Ciò posto, il buco *h* essendo aperto, il mercurio si terrà alla stessa altezza nelle due braccia del manometro, e la pressione atmosferica opererà sulla colonna liquida contenuta nel tubo *tt'* e nel braccio *mn* che sempre con esso comunica; ma chiudendo il buco, è chiaro, che con lo sgorgar dell' acqua dalla parte inferiore del tubo *tt'*, il mercurio ascenderà nel braccio *op* abbassandosi nell' altro *pq*, mentre si abbassa anche il livello dell'acqua nel tubo *mn*. Sia *z* la differenza di altezza del mercurio contenuto nelle due braccia, e *p* la pressione atmosferica: l'aria interna sarà sotto una pressione espressa da una colonna di mercurio $p-z$, ovvero da una colonna d' acqua $(p-z)\ d$, essendo *d* la densità del mercurio e però nello stato di quiete, la pressione che si opera dalla parte di sopra del foro avanza la pressione atmosferica di $a-dz$, esprimendo con *a* l'altezza dell'acqua nel tubo *tt'*. Mercè di questo avanzo di pressione il liquido sgorgherebbe se il tubo *tt'* fosse molto largo talchè la velocità in esso fosse picciolissima: e potendosi, con aprire proporzionatamente la chiavetta *r*, lo stesso avanzo di pressione per molto tempo serbare, si giunge a produrre fenomeni durevoli, i quali si possono comodamente osservare e misurare.

I numeri 4 e 5 della stessa figura 138 rappresentano le aste a cui estremi sono bene accomodati i piani che ricevono la vena e l' espandono.

Con questo strumento il signor Savart ha potuto fermare i risultamenti che seguono per la temperatura 0°:

1°. I nappi aperti e levigati, sia qualunque il foro, s'ingenerano ad una pressione quasi doppia di quella necessaria pe' nappi chiusi. 2°. I diametri de' nappi chiusi sono pressochè proporzionali a quelli de' fori. 3°. I nappi chiudonsi sotto pressioni tanto maggiori per quanto minori siano i fori.

Savart ha anche trovato che partendo da 10 o 20 millimetri l'aumento di distanza del disco dall' orifizio dà luogo a fenomeni analoghi a quelli di un aumento di pressione, ed al contrario; che la temperatura del liquido ha un tale potere sul massimo diametro de' nappi che ad 1 o 2° esso è più piccolo che a 0 e specialmente molto più piccolo che a 4°; che la natura del liquido ha anche un potere ancor più spiccato siccome vedesi sull' alcool, sull' olio, sull'etere, sul mercurio e specialmente sull'acqua stessa, perocchè l'aggiunta di una piccolissima quantità di acido impedisce compiutamente la formazione de' nappi.

Le figure 146 e 147 mostrano i nappi provenienti dallo spandersi di una vena verticale, quando essa va a colpire il piano movendosi da basso in alto più o meno rapidamente, e la figura 145 mostra i nappi di una vena orizzontale. Il Savart ha esaminati anche gli effetti dell'urto della vena fluida sur alcuni altri corpi e particolarmente sur un cilindro di vetro di 27 millimetri di diametro; le figure 148, 149, 150, 151 e 152 indicano i risultamenti che sonosi avuti in tal congiuntura, facendo sgorgare il liquido da un foro di 3 millimetri, sotto una pressione di 152 centimetri, secondo che la vena sempre orizzontale e perpendicolare al cilindro lo venga a colpire più sopra o più sotto: presso ad ogni figura si è indicato il taglio del cilindro riportato sopra una scala più grande, ed il punto di unione del getto.

100. *Dell'urto di due vene fluide opposte.* Riconosciamo anche dal signor Savart la cognizione dei molto importanti fenomeni nascenti dall'urto di due vene fluide opposte (*Ann. de Phys. et de Chim. t.* 55). Nell' estratto che faremo di questo bel lavoro, ci verrà dato appena di porgere un' idea de' risultamenti più generali e più importanti nel medesimo contenuti. Il principale strumento in coteste sperienze adoperato è espresso dalla figura 135: esso è composto di due serbatoi cilindrici *a*, *a'* alti 1m37 e di 0m22 di diametro, posti l'uno all'altro di rincontro distanti fra loro per 30 in 40 centimetri: nei cannelli *b*, *b'* si adattano i tubi cilindrici *c*, *c'*, agli estremi de' quali si uniscono a vite gli orifizi; intorno a' margini di questi tubi essendovi della canapa, ai potran dare agli assi degli orifizi direzioni del tutto coincidenti, ovvero lievemente inclinate in su.

Vasi dello stesso diametro, orifizi eguali. Ridotte eguali le pressioni si aprano gli orifizi;

i quali potranno avere il diametro da 3 fino a 6 millimetri; e tosto che le vene si urteranno, si vedrà nel mezzo dello spazio che separa gli orifizi un bel nappo piano, il quale si mostrerà fregiato di aureola, ovvero levigato, a tenore della pressione, ed il suo maggior diametro corrisponde ad una determinata pressione sotto la quale si vede tutto levigato e trasparente. Le pressioni le quali generano i maggiori diametri de' nappi, sono in ragion reciproca di quelle degli orifizi: così per gli orifizi di 6mm. e di 3mm. le pressioni sono di 55 a 65 centimetri e di 105 a 120. Dopo che si è avuto il maggior diametro, sono i diametri proporzionali alle pressioni per uno stesso orifizio, o per orifizi differenti alle ampiezze di essi.

Se da una parte la pressione si mantenga costante mentre dall'altra vada scemando, si osserveranno i seguenti fenomeni.

Nell'aprire gli orifizi, le pressioni essendo eguali, il nappo apparirà nel mezzo dell'intervallo di quelli; ma sarà tosto spinto verso l'orifizio del vase, il cui livello si è abbassato, giungerà sulla superficie di quello, e riprodurrà i fenomeni della vena fluida che urta un piano: cioè il nappo sarà conico e cinto di aureola sotto gagliarda pressione; curvo, levigato ed aperto sotto una pressione minore; e finalmente levigato e chiuso, essendo la pressione debolissima. Si vedrà intanto il liquido nel vase, che non ne riceve, starsene quasi allo stesso livello dell'altro, onde il nappo interamente lo chiude, e si ha in questo caso il singolare fenomeno di una colonna in quiete che si equilibra con un'altra in moto e dell'altezza medesima. Ciò è vero anche nel caso che la vena abbia una sezione alquanto minore di quella della colonna che sta in quiete, ed anche nel caso che il liquido in quiete sia più o meno denso di quello in moto, purchè le altezze delle colonne siano, come per l'equilibrio statico, in ragion reciproca delle densità.

Orifizi eguali, vasi disuguali. Allorchè i due vasi hanno differenti diametri, il libero sgorgare, cioè quello che si fa senz' aggiungere nuovo liquido a' vasi, presenta delle alternative facili a comprendere; il piccol vase allora si vôterà con una velocità periodicamente variabile.

Orifizi disuguali, vasi eguali. Comunicando tra loro i due vasi perchè si serbi ne' medesimi lo stesso livello, si vedrà che se il diametro dell'orifizio maggiore non sia più del triplo di quello dell' orifizio minore, il nappo presenterà i fenomeni indicati dalla figura 143 n. 1, 2 e 3; vale a dire che se il nappo sia conico per gagliarde pressioni (n. 1) diverrà poscia levigato e curvo (n. 2) per pressioni minori; e finalmente si chiuderà (n. 3) se le pressioni divengano anche minori di queste.

Il signor Savart ha ricavate anche le seguenti illazioni da un'altra serie di esperienze fatte sulla pressione delle vene liquide, e sulla rapidità con la quale si compone l'equilibrio tra due vasi l'uno pieno e l'altro vôto posti in comunicazione per mezzo di una vena liquida:

1°. La velocità di tutte le molecole che compongono un segmento perpendicolare all'asse della vena è perfettamente la stessa.

2°. La pressione generata da una vena spinta in giù sopra un piano che le sia perpendicolare, il di cui diametro sia eguale a quello che ha la vena nell'incontrare il piano anzidetto, è misurata dal peso di una colonna d'acqua alta quanto la distanza che passa tra il piano urtato ed il livello del liquido nel serbatoio, che abbia il diametro quanto quello che ha la vena nell'incontrare il piano suddetto.

3°. La pressione ingenerata dalla vena diventa tripla di questa quantità, allorchè opera su di un piano orizzontale avente il diametro eguale a quello del sottil nappo prodotto dall'aprirsi del getto; ed è solo eguale al doppio di tale quantità, se dalla intera pressione si tolga il peso del nappo anzidetto.

4°. Se la pressione si operi nella superficie concava di un emisfero, può diventar quadrupla del peso della colonna liquida che abbia lo stesso diametro che ha la vena nell'incontrare il corpo che urta, e l'altezza quanto la distanza che passa questo punto e la superficie di livello.

5°. Quando due vasi dello stesso diametro aventi eguali orifizi siano in tal modo disposti che la vena liquida sgorgante dall'uno possa cacciarsi entro l'orifizio dell'altro, essendo uno di tali vasi pieno e l'altro vôto, il liquido si ripartisce egualmente tra i due vasi, ed il tempo necessario perchè i medesimi liquidi si riducano alla stessa altezza è quanto i due terzi di quello richiesto perchè avvenga lo stesso allorchè i vasi direttamente comunicano per un orifizio dello stesso diametro di quello per lo quale il liquido sgorga. Se il vase pieno sia tenuto a livello costante, l'altro che riceve la vena fluida anche giunge ad eguagliar la pressione ne' due terzi del tempo che sarebbe necessario per avere cotesta eguaglianza allorchè i vasi direttamente tra loro comunicassero.

101. *Vari strumenti per lo moto de' liquidi.* — Per dare un'applicazione degli antecedenti principii, e della maniera di operare delle

pressioni atmosferiche, ci studieremo di far conoscere alcune macchine delle quali suolsi fare un uso frequente.

102. *Del sifone.* Il sifone è un tubo ricurvo *Lab'* (*fig.* 153); *bs* è il *braccio corto*; *sb* il *braccio lungo*; *at* è il *tubo d'inspirazione*, l'uso del quale tra poco vedremo, ma che per ora supponiamo che non vi fosse. Se le due braccia sian piene di liquido, ne' punti *b* ed *n*, i quali sono allo stesso livello, le pressioni saranno eguali; onde in *b'* la pressione sarà maggiore per quanto è il peso della colonna *nb'*. Il liquido sgorgherà dal braccio lungo, mercè questo eccesso di pressione, con quella velocità che avrebbe acquistata cadendo da *n* fino a *b'*.

Finchè in *b* vi sia liquido, questo per la ragione medesima continuerà a sgorgare. Se questo estremo del braccio corto si trovi immerso in un vase ripieno, il vase si vôterà, e la velocità con la quale il liquido sgorgherà sarà sempre l'effetto della differente altezza delle due braccia, considerando per altezza di ciascuno la distanza dal sommo *s* al livello del liquido nel quale è immerso. Il tubo d'inspirazione è posto per *adescare* il sifone, cioè per riempirlo e farlo operare. Le figure 154 e 155 esprimono altre maniere di sifoni, gli effetti de' quali agevolmente s' intenderanno. Quando si versa dell'acqua in questi vasi, che diconsi *coppe di Tantalo*, essa vi resta come ne' bicchieri comuni fino a che non giunge all' altezza *nn'*, ma pervenuta a quello livello se ne versi un altro poco, il sifone sarà adescato ed il bicchiere si vôterà compiutamente. Il sifone non è solo di un uso quotidiano nelle arti, ma può essere anche utilmente adoperato per deviare il corso di un fiume (1).

103. *Fontana di compressione.* — *v* (*fig.* 156) è un vase di rame (2) di grosse pareti; *t* un tubo cui è unita la chiavetta *r* (questi due pezzi sono saldati, ed il loro insieme può unirsi a vite al collo del vase *v*), *j* è la cannella per la quale deve uscir l'acqua, essa si unisce a vite sulla chiavetta *r*, e dal cui orifizio dipende il diametro del getto d'acqua: *nn'* è il livello dell'acqua nel vase. Mercè una tromba di compressione che si adatta sulla piastra della cannella al di sopra della chiavetta *r*, si addensa l'aria nello spazio *nan'*. Allora la fontana è *caricata*; si toglie la tromba, si ripone la cannella, si volta la chiavetta, e si vede il liquido uscire in zampillo di notevole altezza, potendo giungere fino a 30 ed anche fino a 100 piedi, se l'aria sia ridotta alla pressione di 2, ovvero di 5 o 6 atmosfere.

104. *Fontana intermittente.* — *r* (*fig.* 157) è il riserbatoio d'acqua, *jj'* sono le cannelle di scolo, la figura ne mostra solo due; *t* è il *tubo di pressione*, il cui estremo superiore s'innalza oltre il livello dell' acqua contenuta nel riserbatoio; *p* è il piede della fontana, nel quale sta il segreto della intermittenza: ivi si osserva un

(1) Gioverà dichiarare alcun poco quel che l'Autore ha detto in questo paragrafo. Supponiamo che il sifone abbia da prima le braccia eguali, cioè che sia terminato in *n* (*fig.* 153), e che il capo *b* sia appena immerso nell'acqua, succhiando l'aria contenuta nel sifone coll'applicare per esempio la bocca in *n*, l'acqua dovrà ascendere per *bs* e discendere in *n* per effetto della pressione che l' aria esercita sulla superficie dell'acqua esterna, la quale non è più contrariata dalla pressione dell'aria interna: giunta l'acqua in *n* sarà spinta in dentro dalla pressione della aria che ritorna intera supponendosi tolta la bocca da *n*; ma la pressione in questo punto essendo eguale a quella che l'acqua soffre in *b* dovrà il sifone starsene pieno senza che l'acqua sgorghi per *n*; o ritorni nel vase di prima. Non sarà poi lo stesso se il sifone s' intenda prodotto in *b'*, perciocchè la colonna di liquido *nb'* viene ad esser contrariata dalla pressione di una colonna d' aria della stessa altezza, e quindi dovendo vincere la forza maggiore, l' acqua dovrà sgorgare per *b'* fino a che la superficie di livello non scenda al di sotto di *b*. Ho detto che la colonna liquida *nb'* è contrariata dalla pressione di una colonna d' aria dell' altezza medesima, perchè la pressione della colonna atmosferica, che parte da *b* e va fino al termine dell'aria, è composta in equilibrio con la pressione eguale che opera in *b*. Il tubo di *aspirazione* o inspirazione, che dir si voglia, serve per potere più comodamente succhiare, tenendo chiuso l'orifizio *b*: ma cotesto tubo è assolutamente necessario nel caso che si debban travasare liquidi corrosivi, ed in questo caso giova il rigonfiarlo come si vede espresso nella figura, acciocchè il liquido anzidetto non giunga fino alla bocca applicata verso l' orifizio *t*. Si potrebbe anche far uso di una tromba aspirante per rarefare l' aria del sifone.

Ma volendo giovarsi del sifone per trarre gran copia di acqua da un canale o da un fiume, assai malagevole riuscirebbe di farvi correre l' acqua rarefacendo l' aria: in questi casi si suol fare un buco al sommo della curvatura, per lo quale s' introduce dell' acqua, fino a che il sifone, i cui estremi sian chiusi, non sia perfettamente pieno; allora chiudendo l' anzidetto buco ed aprendo gli orifizi, si vedrà l' acqua copiosamente sgorgare.

La tazza o coppa di *Tantalo* (*fig.* 154) è un bicchiere entro del quale avvi un piccol sifone, il cui braccio lungo ne penetra il fondo, rimanendo il braccio corto aperto dentro del bicchiere medesimo: versando in questo dell' acqua, essa entrerà nel sifone per lo braccio corto, mettendosi entro di esso al livello dell' acqua del bicchiere, ma quando l'acqua versata nel bicchiere avrà coverto il sommo del sifone, quella di dentro premuta di più volterà per la curvatura di esso e quindi scenderà per l' altro braccio, ed il bicchiere sarà vôtato interamente.

(2) Meglio se sia di cristallo.

taglio a mezza luna *e'*, all' estremo inferiore del tubo, ed un buco *v* per lo quale l' acqua passa da un recipiente nell' altro sottoposto. Quando il taglio a mezza luna è scoverto, l'aria entra per lo tubo e preme sulla superficie *nn'* dell'acqua del serbatoio; ma quando è coverto dall'acqua, che adunasi nel primo recipiente, l'aria non potendo più entare per lo tubo, la pressione andrà gradatamente scemando nel serbatoio, l'acqua più non isgorgherà fino a che il taglio a mezza luna non resti scoverto di nuovo e l'aria per lo tubo non possa un' altra volta entrare.

Laondo la durata delle intermittenze dipende dalle rispettive ampiezze del foro *v* e delle cannelle, dall' altezza del taglio a mezza luna e dalla distanza delle cannello dalla superficie di livello dell'acqua contenuta nel riserbatoio.

105. *Fontana di Erone.*—Questa (*fig.*160) è composta di tre vasi, cioè di uno superiore *a*, di uno medio *b*, e di un altro inferiore *c*; e di tre tubi: il primo *x* che dal fondo del vase di sopra discende fino a quello del vase di sotto, il secondo *y* che dal sommo di questo fino alla parte superiore del vase di mezzo s'innalza, ed il terzo *z* che incomincia dal fondo di questo e finisce a 2 o 3 decimetri sul vase di sopra, e da esso esce il getto d'acqua della fontana di Erone (1).

L'acqua si versa nel vase *b* per l' orifizio *p*, il quale dopo si chiude; si pone similmente dell'acqua nel vase *a*, si apre la chiavetta *r*, ed il liquido si spingerà fino ad un punto di tanto elevato sul livello del vase di mezzo per quanto il livello del vase superiore è elevato al di sopra di quello del vase inferiore. Questa pressione infatti è quella che soffre l'aria che è chiusa nel vase inferiore e nel vase medio(2).

Nella figura 159 si vede un'altra fontana di Erone la cui forma di leggieri s'intende; alcuni tubi di vetro bastano per farla.

106. *Lucerna a gas idrogeno.* — Questa lucerna è composta da un recipiente *b* a collo lungo, capovolto in un vaso più largo *v* (*fig.* 158) senza toccarne il fondo, e la giuntura *cc'* deve essere ben chiusa; un cilindro cavo *zz'* di zinco circonda il collo del recipiente: l' acqua acidulata della quale è pieno il vase *v* opera sullo zinco, essa si decompone, sviluppasi l' idrogeno che contiene, e per la pressione ognor crescente di questo gas l'acqua è spinta sempre più nel recipiente *b*, fino a che il suo livello non siasi abbassato oltre l'ultima sezione *z'* dello zinco: allora si sospenderà ogni azione, e si avrà un riserbatoio pieno di gas idrogeno compresso. Volgendo la chiavetta *r*, il gas uscirà per lo esilissimo tubo *t*, e mescolandosi con l' aria atmosferica s' infiammerà toccando una spugna di platino (3).

107. *Tromba aspirante ed elevatoria.* — La tromba aspirante (*fig.* 161) è composta di un *tubo di aspirazione a*, di un *corpo di tromba b*, di uno stantuffo *p*, di un *tubo di elevazione s*, e di tre animelle *r*, *t*, *l*, le quali si aprono da sotto in sopra. La prima animella *r* sta nel fondo del corpo di tromba, la seconda *t* nella grossezza dello stantuffo, e la terza *l* nella parte inferiore del tubo di elevazione. Il tubo d' inspirazione è immerso nell' acqua che si vuol sollevare, e l'asta dello stantuffo passa per un pezzo *e* foderato di stoppa e per un altro *g* spalmato di materie untuose. Alzando da prima lo stantuffo la sua animella si chiude, e le altre due *l* ed *r* si aprono, la prima a cagione dell'aria di sopra che si comprime ed esce, la seconda perchè l'aria di sotto dilatandosi passa sotto allo stantuffo: diminuita così la pressione nel tubo d'inspirazione, l' acqua monterà su per la esterna pressione. Dopo di essersi alzato lo stantuffo, facendolo discendere, l' animella di sotto si chiuderà; l'aria compressa nel corpo di tromba aprirà l'animella dello stantuffo e passerà sopra. Di nuovo alzando lo stantuffo, l'acqua monterà un poco più, e nel farlo di nuovo discendere uscirà via una nuova porzione di aria. Finalmente, se la tromba è ben fatta, l' acqua dopo un certo numero di colpi giungerà sulla prima animella; e spingendosi sempre più urterà la seconda, riducendosi sullo stantuffo. Da questo momento non v' ha più aria nella tromba, la quale perciò opera nell'acqua: ed ogni volta che lo stantuffo sale, innalza tutta la colonna d'acqua che tien sopra, e trae seco l' acqua di sotto; sempre che

(1) Giova qui avvertire il tubo *z* resta aperto presso al fondo del vase *b*, perciocchè l'acqua deve entrare ed ascendere fino all' orifizio del tubo medesimo. Dicasi lo stesso del tubo *x*, il quale neppur tocca il fondo del vase *c*, dovendo per questo tubo l' acqua introdursi nel vase suddetto.

(2) Volgendo uno sguardo alla figura di leggieri s' intende come l' acqua del vase *a*, scendendo nel vase *c*, caccì l'aria che si trova in questo nel vase *b*, il quale diviene perciò una fontana di compressione.

(3) La spugna di platino sta di rincontro alla corrente orizzontale del gas che esce per un forellino fatto all' estremo del tubo *t*. Essa ha la proprietà di arroventarsi allorchè è colpita da una corrente di gas idrogeno, e però rendesi atta ad accendere questo gas. La spiegazione del fenomeno sarà meglio intesa dopo l' esposizione di alcune dottrine delle quali si tratterà in un supplimento. Si può intanto vedere il bisogno che ha la Fisica di ricorrere sovente a certe elementari nozioni di Chimica.

il medesimo scende, la prima animella si chiude, la sua si apre, e così per la sua base riceve la colonna di acqua tiràta, per quindi a sua posta sollevarla. Lo sforzo necessario per alzare lo stantuffo si compone di due parti: una è l'attrito, e l'altra eguaglia il peso di una colonna liquida avente per base lo stantuffo medesimo ed alta quanto l'intera altezza cui trovasi l'orifizio per lo quale l'acqua sgorga.

Affinchè una tromba sia buona, è mestieri che l'acqua possa ascendere fino alla prima animella *r*: onde il sito di quest'animella dipende dal grado di rarefazione che si può dare all'aria che trovasi sopra di essa, il che dipende dallo spazio che lo stantuffo percorre e dalla distanza delle due animelle *t* ed *r*. Se questa distanza è nulla, il vôto è possibile: ed a rigore l'animella *r* potrebbe stare per 32 piedi al di sopra del livello dell'acqua che si vuole innalzare. Ma se l'indicata distanza sia di un decimetro e lo stantuffo percorra due decimetri, l'aria per opera della tromba potrebbe esser ridotta a dare una mezza pressione atmosferica, e l'animella *r* potrebbe al più esser messa per 16 piedi al di sopra del livello dell'acqua. Agevole riesce il calcolare la relazione generale che passa fra questi diversi elementi.

108. *Tromba aspirante e premente a corpo di tromba lisciato.* — Cotesta tromba (*fig.* 162) è composta di un tubo d'inspirazione *a*, di un altro di elevazione *e*, di un corpo di tromba *c*, e di uno stantuffo *p*; ma tiene due sole animelle *r* ed *l*, una d'inspirazione e l'altra di elevazione, lo stantuffo non è in alcun modo perforato, e dalla parte di sopra è sempre in aperta comunicazione con l'aria.

Allorchè lo stantuffo sale, l'acqua è inspirata fin sopra l'animella *r*; e quando scende, l'acqua essendo premuta, chiude l'animella *r* ed apre l'altra *l*.

109. *Tromba aspirante e premente a corpo di tromba non lisciato.* — Cotesta tromba, dinotata dalla figura 163, differisce dalla precedente per la forma e per la maniera colla quale lo stantuffo è accomodato al corpo di tromba. Le due animelle *r* ed *l* del tubo d'inspirazione *a* e di quello di elevazione *s* sono anche poco diverse: esse offrono una disposizione assai comoda, singolarmente per le grandi pressioni: la prima di tali animelle *r* è composta di due pezzi a cerniere inclinati, i quali quando si alzano per la inspirazione son trattenuti dagli ostacoli *i i'*, e quando lo stantuffo scende ricadono e restan fermati sul prisma *z*; la seconda *l* è formata da un sol pezzo a cerniera inclinato. L'apparecchio che al di sopra di questa si vede, è ordinato a poter visitare l'animella e mutarla quando l'uopo il richiede.

Il corpo di tromba non è punto lisciato perciocchè lo stantuffo non lo tocca.

Lo stantuffo è un perfetto cilindro metallico, il quale entra in una cassetta *e* guernita di stoppa, e nell'altra *g* spalmata di materia untuosa: e qui è la vera chiusura nella tromba.

È forza assolutamente fare un piccolo meato per lo quale possa uscir l'aria che dall'acqua sprigionasi e che potrebbe render la tromba inetta all'opera riempiendone il corpo. Cotesto meato può esser fatto in due modi: o perforando la parete del corpo di tromba, o facendo un buco secondo la lunghezza dello stantuffo il quale poi vada a terminare lateralmente, come si vede nella *fig.* 163 in *tyu*; *t* è la vite di pressione che chiude l'apertura di questo meato.

Il signor Martin ha stabilito di queste trombe a Marly, le quali son lavorate con rara perfezione; per mezzo di esse si fa salir l'acqua all'altezza di 500 piedi sul livello della Senna.

110. *Tromba de' preti.* — In questa tromba fa le veci dello stantuffo una membrana elastica (*fig.* 164), la quale è fermata col suo lembo, ed ha nel mezzo un'animella metallica *s'*. Quando l'asta *t* alza la membrana, il liquido è inspirato ed entra per l'animella *s*: al contrario facendo scender l'asta, il liquido stretto fra le due animelle apre l'animella *s'* e passa sullo stantuffo elastico.

Con una di queste trombe si fa ascender l'olio nelle lucerne di Gotten; la tromba in questo caso è disposta nel modo espresso dalla figura 165: *cc rr* indica la sezione verticale di una piccola cassa di rame divisa in due parti dal tramezzo *l*: la parte destra si suddivide sulle lunghezze in tre o quattro piccoli scompartimenti simili a quello dalla figura rappresentato. Una pelle finissima è alternativamente alzata e depressa mercè il filo *f*: quando essa s'innalza, l'olio del riserbatoio *r* entra per l'animella *s*; quando si deprime, è promuto e passa per l'animella *s'* per ascender nel tubo *t*. Tre scompartimenti o tre trombe aventi le loro animelle separate son sufficienti perchè il moto sia continuo: l'una è al di sopra della *corsa*, l'altra nel mezzo, la terza alla fine; e l'olio è quasi continuamente spinto con egual forza nel tubo di elevazione. Le trombe si mettono in moto con un meccanismo analogo a quello degli orologi.

111. *Strettoio idraulico.* — Questa macchina è molto utile nelle operazioni agricole ed industriali, per la qual cosa ci è sembrato ne-

cessario di rendere aperti i particolari di sua struttura. Essa viene rappresentata dalle figure 170, 171, 172, 173, 174.

Fig. 173. Alzata generale dello strettoio.

Fig. 170. Taglio verticale.

Fig. 172 Un pezzo di cuoio concavo.

Fig. 171. Pezzi i quali servono ad accomodare lo stantuffo della tromba.

Fig. 174. Particolari della *valvola* di pressione.

Nello strettoio idraulico vi son due parti distinte, cioè una tromba aspirante e premente che dà la pressione, ed un piatto a stantuffo che la riceve per trasmetterla immediatamente a' corpi che si voglion premere.

La tromba si vede nella sua alzata in *af* (*fig.* 173), e molto più in grande nel taglio verticale in *af* (*fig.* 170).

Il piatto a stantuffo nella sua alzata si vede in *p' p* (*fig.* 173), e molto più in grande nel taglio verticale in *p* (*fig.* 170) (qui il piatto *p'* è tolto, e ci resta lo stantuffo).

La tromba trasmette allo stantuffo *p* la pressione, mercè il tubo *tbu* (*fig.* 170 e 173).

Alzando la leva *l* (*fig.* 173), si alza lo stantuffo *s* della tromba (*fig.* 170), l'acqua della tinozza *b* (*fig.* 173) entra per la tromba ad inaffiatoio *r* (*fig.* 170), alza l'animella *i*, e passa sotto allo stantuffo *s*: quando si preme sulla leva *l*, si fa calare lo stantuffo *s*, l'acqua premuta chiude l'animella *i*, entra nel tubo *z* (*fig.* 170), alza l'animella *d*, e passa nel tubo *tbu* per giungere nel corpo *cc'* dello strettoio (*fig.* 170 e 173): ivi esercita il suo sforzo contro lo stantuffo *p*, e lo fa ascendere insieme col piatto *p'*, il quale a sua posta preme contro il cielo *ef* dello strettoio (*fig.* 173).

Se la sezione dello stantuffo *s* sia la centesima parte di quella dell'altro *p*, uno sforzo di un chilogrammo sul primo ne genererà da sotto in sopra uno di 100 chilogrammi sul secondo. Ora per mezzo della leva *l* un uomo può comodamente produrre sullo stantuffo *s* uno sforzo di 300 chilogrammi; quindi lo stantuffo può esser facilmente premuto da una forza di 30 mila chilogrammi.

Ecco il principio fondamentale dello strettoio idraulico.

Faremo intanto conoscere come si misurano le pressioni, e come siasi giunto a non fare uscire alcun poco di acqua.

Le pressioni si misurano mercè l'animella *g* (*fig.* 170 e 174). Conoscendo il peso *p*, la sua distanza *yf* dal punto di appoggio *f*, la distanza *xf* dal punto col quale la leva preme l'animella, e finalmente la sezione di questa, agevole riuscirà il calcolare la pressione che essa soffre per parte del liquido allorchè si alza la leva *fy*.

Per non fare uscire il liquido si accomoda con somma diligenza lo stantuffo *s*; i pezzi a questo fine ordinati si veggono in grande nella *fig.* 171, e le cose son disposte come nella tromba di Martin (*fig.* 163 *tav.* 7). Ma la maggiore difficoltà si trovava nello stantuffo *p*, la quale è stata tolta da Bramah mercè la felice invenzione del cuoio concavo, un taglio del quale si vede nella *fig.* 172. Questo cuoio è disposto in *mm'* (*fig.* 170) in uno spazio anulare fatto appositamente nel corpo *cc'* dello strettoio: dalla sua forma o dalla maniera come sta situato si comprende che questo debba chiudere tanto meglio per quanto più gagliarda sia la pressione, perciocchè questa lo preme verso lo stantuffo che dal medesimo è cinto strettamente e verso le pareti dello spazio anulare.

La vite *k* serve per far cessare la pressione; allorchè questa si svolta, il liquido dal corpo dello strettoio ritorna per lo tubo *ubt* ed esce per l'apertura *r*.

112. *Ariete idraulico.* — Questa macchina, la quale fu ideata nel 1797 da quello stesso Montgolfier che inventò gli aerostati, non è meno importante, e per lo nuovo principio sul quale è fondata, e pe' grandi vantaggi che può dare. Ci studieremo intanto di far conoscere il principio di Meccanica dal quale la sua forza dipende. Qualunque corpo sia solido o fluido essendo animato da una data velocità, supponendo che una parte di esso si arresti, le altre che non sono direttamente trattenute, sul momento produrranno su quella effetti diversi: quelle dinanzi tenderanno a trarsela appresso od a separarsene; quelle di dietro nel proseguire l'intrapreso cammino si precipiteranno premendosi le une con le altre, spingendo la parte fermata. Uno strale per esempio che corre con molta velocità, se venisse arrestato per lo mezzo, la parte di avanti sforzandosi a trarre la parte arrestata soffrirebbe uno stiramento in tutta la sua lunghezza, per lo quale potrebbe essere spezzato se avesse una considerabile velocità: la parte posteriore al contrario spingendo la parte fermata soffrirebbe una pressione in tutta la sua lunghezza, e tutti i segmenti di essa sarebbero come calcati gli uni sugli altri. In simil guisa quando una colonna d'acqua si muove per un tubo, ed in un subito venga da un ostacolo rattenuta, essa premerà cotesto ostacolo mercè la velocità acquistata; il primo segmento che lo tocca è innanzi tratto fermato e poscia premuto dal seguente, e così di mano in mano fino alla cima della colonna;

durante questo tempo, che per altro è brevissimo, il tubo soffre un aumento di pressione laterale in ragione del suo diametro e della velocità dell'acqua, ed è appunto questo aumento di pressione generato dal moto trattenuto quello che forma la forza motrice dell'ariete idraulico.

tt' (*fig.* 169) è un tubo nel quale si muove l'acqua di una sorgente con velocità che dipende dall'altezza della caduta: e questo è il *corpo dell'ariete*. L'acqua se non vi fosse alcun ostacolo passerebbe per lo foro *v* e si disporrebbe secondo il livello *nn'*, il quale è il natural livello di sotto alla caduta; ma verso questo estremo del tubo si pongono diversi pezzi i quali costituiscono la *testa dell'ariete*: *s* è un'animella la cui densità è doppia di quella dell'acqua: essa può essere alzata dal moto dell'acqua, ed applicata sull'apertura *v*, la quale in questo caso è interamente chiusa; questa è detta *animella di ritenutà* (1). Quando l'animella *s* è chiusa, l'acqua passa per lo condotto *z* ed ascende nel vase metallico *bb'*, d'onde per lo sportellino *c* passa nella grande campana di metallo *hh'*, per andare finalmente nel tubo di elevazione *dek*. Ivi essa si fermerebbe, giunta all'altezza del livello superiore della caduta, se non vi fosse una forza motrice che fosse capace a spingerla più in alto. Or questa forza si genera nel modo che segue: l'acqua della sorgente avendo acquistato nello scendere molta velocità, alza l'animella *s* e chiude l'apertura *v*; allora la pressione laterale risultante dal moto trattenuto esercita uno sforzo verso tutt' i punti della parete del tubo. Questa pressione spinge il liquido in *z*, lo sportellino *c* si alza, e l'acqua passa nella campana *hh'*; la durata di questa elevazione è alquanto protratta dalla reazione della elasticità di tutte le parti della macchina. Tosto lo sportellino *c* e l'animella *s* ricadono per lo proprio peso; l'uno chiudendo l'apertura del vase *bb'*, l'altro aprendo il foro di scolo. La serie degli effetti che rapidamente succedonsi fino a questo punto, è ciò che dicesi *colpo di ariete*. Ricominciando lo scorrere naturale del liquido, tosto se ne accresce la velocità; l'animella *s* sarà di nuovo alzata, e gli stessi fenomeni ritorneranno. Facendo dei saggi si determina la disposizione de' pezzi, e specialmente il moto da dare all'animella *s* perchè si abbia il maggiore effetto possibile. L'altezza, cui con questa macchina possa esser l'acqua innalzata, dipende dal diametro del canale e dalla velocità che può avere nel passare per esso.

Si vede in *p* uno stantuffo il quale serve per fare entrare in *i* nel vase *bb'* nuova quantità di aria quando quella ivi esistente siasi a poco a poco dissipata: l'aria entra da se stessa, ed anche per la maniera ond'è formata la macchina.

Sembra che nella pratica l'ariete dia più del 60 per 100 della forza effettiva dell'acqua della sorgente, il che corrisponde presso a poco a quello che posson dare le migliori *ruote a cassette*, nell'atto che le ruote a *pale mosse di sotto* dauno solo il 25 o il 50 per 100 (2).

SUPPLIMENTO 5°.

Avendo reputato utile di allargare alquanto le materie dell'Autore trattate ne' due precedenti capi, non ho stimato farlo nelle note per non distrarre continuamente l'attenzione del lettore; per la qual cosa dirò in questo supplimento alcune cose che con le antecedenti si rettamente congiuugonsi.

Dal principio di Archimede, del quale si è innanzi discorso, parecchie utili verità derivano.

1°. Le perdite di peso di due solidi immersi in uno stesso liquido sono proporzionali a' volumi (3).

2°. Conoscendo il peso assoluto del solido e la perdita di peso che soffre per l'immersione in un dato fluido, si conoscerà la ragione tra la gravità specifica del solido e quella del fluido; imperciocchè in questo caso si conosce il diverso peso del solido e del liquido sotto eguali volumi (4).

(1) Detta altrimenti *valvola di arresto o di fermata*. V. Venturoli, Elemen. ecc. vol. II.

(2) V. Poncelet, Memorie sulle ruote idrauliche a pale curve mosse di sotto.

(3) Dicesi gravità specifica de' corpi il loro diverso peso sotto lo stesso volume. Ora data la gravità specifica del fluido e la perdita di peso del solido per la immersione, si potrà conoscere il volume del solido. Infatti detto V questo volume e g la gravità specifica del liquido, sarà il peso di un volume di liquido eguale a quello del solido espresso da Vg: onde se sia p il peso perduto per l'immersione, si avrà $Vg=p$ e quindi $V=\frac{p}{g}$.

(4) Se sia V il volume di un solido e G la sua gravità specifica, il suo peso sarà espresso da VG; e detta g la gravità specifica di un egual volume di liquido, sarà Vg il peso di questo, e per le cose dette è chiaro che il peso che resterà al solido immerso nel fluido sarà espresso da $VG-Vg$; onde detto p questo peso, avremo $VG-Vg=p$, e quindi $VG-p=Vg$. Se quest'ultima equazione si moltiplichi per G, si avrà $(VG-p)G=GVg$, donde $G:g=GV:GV-p$; cioè la gravità specifica del solido immerso sta a quella del fluido, come il peso assoluto di questo solido alla perdita di peso per la immersione sofferta. Or se la gravità specifica del fluido si prenda per unità, l'antecedente analogia resterà espressa

3°. Se uno stesso solido s'immerga in diversi fluidi, è chiaro le diverse perdite di peso che soffrirà dinoteranno il diverso peso de' fluidi medesimi sotto lo stesso volume, ed in conseguenza le gravità specifiche de' fluidi anzidetti. L'applicazione di questi principii si vedrà nel volume seguente ove si parlerà della maniera di determinare le densità o gravità specifiche de' corpi (1).

4°. Se nello stesso fluido s'immergano due solidi di diversi volumi, è chiaro dover questi soffrire perdite di peso proporzionali ai loro volumi; onde se le perdite siano eguali, eguali dovranno anche essere i volumi. E poichè nei corpi omogenei i volumi sono come i pesi, ne segue che prendendo due pezzi d'oro, per esempio, dello stesso peso, ed immergendoli nell'acqua, questi dovranno soffrire le stesse perdite; ma se uno di questi pezzi sia d'oro puro e l'altro di una lega per esempio di oro e rame, o di oro ed argento, le perdite di peso non saranno più eguali, perchè sotto lo stesso peso assoluto non avranno eguali volumi. È fama che Archimede partendo da questo principio scoprisse esservi della lega nella corona d'oro fatta per Gerone re di Siracusa (2).

5°. La gravità specifica di un solido può essere eguale, maggiore, o minore di quella di un fluido nel quale questo solido sia immerso. Ora la spinta verticale pareggiando sempre il peso del fluido rimosso, segue dovere nel primo caso il solido rimanere immobile nel fluido a qualunque altezza. Nel secondo caso poi distruggendosi solo una parte del peso del solido, esso scenderà col residuo, purchè questo non resti distrutto dalla resistenza della quale si è altrove discorso, resistenza la quale, poste le altre cose eguali, è proporzionale alla superficie perpendicolare alla linea del moto. Nel terzo caso finalmente la spinta verticale essendo maggiore del peso del solido; questo sarà menato verso la superficie, ed allora si terrà fermo quando con la parte immersa occupi un volume il quale essendo occupato dal fluido avrebbe un peso eguale a quello dell'intero solido.

Ma perchè tali effetti sian prodotti è mestieri, che le pressioni dalla differenza delle quali la spinta verticale dipende possano liberamente esercitarsi: onde avviene che se nel fondo di un recipiente si adatti un pezzo di legno ben piallato, e poi si empia questo recipiente di acqua, il legno quantunque più leggiero resterà al fondo: per una ragione analoga l'otturatore nell'esperimento descritto nel § 58 può stare immerso nell'acqua senza cadere, tuttochè di questa fosse più grave.

De' piccioli aghi tenuti in posizione orizzontale e fatti gentilmente cadere sulla superficie dell'acqua, restan galleggianti come fosser di legno o di altra leggerissima materia, e questo secondo il Rumford accade perchè l'attrazione molecolare ingenera come una pellicola sulla superficie di una massa di acqua, sulla quale i piccoli aghi possono tenersi: ma di ciò sarà discorso altrove.

Se si volesse coll'esperienza comprovare che i galleggianti ridotti in equilibrio restano immersi di tanto nel fluido in cui galleggiano

così: $G: 1 = GV: GV-p$; donde si avrà $G = \frac{GV}{GV-p}$, espressione della gravità specifica del solido.

(1) Essendo $VG-p=Vg$, quando lo stesso solido venga immerso in un altro liquido, si avrà similmente $VG-p'=Vg$, e quindi

$$Vg: Vg' = VG-p: VG-p'$$

ossia

$$g:g' = VG-p : VG-p'.$$

(2) Nel determinare quant'oro e quanto argento la corona di Gerone contenesse, Archimede forse ragionò nel seguente modo. Sia p il peso della corona ed m il suo peso perduto nell'acqua: sia x la quantità dell'oro dalla medesima contenuto, y quella dell'argento. Prendendo due altre masse, una di puro oro, e l'altra di puro argento, ciascuna del peso p, e chiamando d il peso perduto nell'acqua dalla prima, c quello perduto dalla seconda: è chiaro dover essere il peso della massa di puro oro al suo peso perduto, come quello dell'oro contenuto nella corona al peso perduto dallo stesso nell'acqua, cioè $p: d-x: \frac{dx}{p}$, onde il peso perduto nell'acqua dall'oro contenuto nella corona sarà espresso da $\frac{dx}{p}$: similmente si troverà essere $\frac{cx}{p}$ quello perduto dall'argento. Ma la somma di questi pesi perduti debbono eguagliare il peso m perduto dalla corona: si ha perciò

$$\frac{dx}{p} + \frac{cx}{p} = m;$$

ma il peso dell'oro e dell'argento fanno il peso p della corona: si ha dunque

$$x + y = p,$$

dalle quali equazioni si ottengono facilmenta i valori di x ed y.

In tutto questo si suppone essere la somma dei volumi de' due metalli separati eguale al volume totale de' due metalli uniti il che non è generalmente vero.

da rimuoverne un volume che pesi quanto pesano essi, si potrebbe nel seguente modo operare. In un vase non interamente pieno di acqua s' immerga per esempio un cilindretto di cera; questo galleggerà, e l' acqua salirà alquanto sul primiero livello. Si noti quest' altezza allorchè il galleggiante si è composto in equilibrio, e si pesi il vase con l' acqua e col cilindro. Tolto poi il cilindro, l'acqua tornerà all'antico livello; allora se ne infonda dell' altra, fino a che nuovamente si abbia il livello segnato; è chiaro bisognarcene tanta per quanta ne rimovea la parte immersa del cilindro. Or si ripesi il vase dopo di avervi aggiunta quest'acqua, si troverà pesare quanto pesava allorchè vi era immerso il cilindro; donde apparisce pesare il cilindro quanto l' acqua da esso rimossa (1).

Non si durerà poi molta pena ad intendere, che se uno stesso galleggiante s'immerga successivamente in due fluidi diversi, s' immergerà di più in quello che è più leggiero e di meno nel più pesante, ovvero le gravità specifiche de'due fluidi saranno fra loro in ragione reciproca delle parti del galleggiante immerse negli anzidetti fluidi (2). Quindi se una barca molto carica passasse dal mare in un fiume, potrebbe rimanervi sommersa.

Dalle cose finora discorse apparisce due essere le condizioni di equilibrio de'galleggianti, la prima che si abbia $gV=g'v$, cioè il solido s' immerga in guisa da rimuovere un volume di fluido che pesi quanto l'intero solido, l'altra che i centri di gravità del solido e della parte immersa siano nella stessa verticale; ma perchè questo equilibrio sia stabile, si richieggono altre condizioni, intorno alle quali mi taccio, contento di averne data un'idea nella nota al § 87, dove si è avvertito in generale, aversi la stabilità se il centro di gravità del galleggiante sia al di sotto di quel punto che dopo il Bouguer in architettura navale fu detto metacentro.

II.

Allorchè un liquido sgorga per un foro fatto nel fondo o nella parete del vase, esso si può considerare come spinto dalla pressione del liquido soprastante, qualora il foro sia picciolissimo; ed è in questo caso che ha luogo la dimostrazione del teorema di Torricelli. Che se i fori da' quali si fa uscire il liquido sian molto ampi, non essendo più la velocità dello sgorgare prodotta dal peso della colonna liquida che sta al di sopra del foro, devesi ad altro ragionamento ricorrere per poterla valutare.

Supponendo dunque i fori picciolissimi, si può il teorema di Torricelli facilmente dimostrare. Sia il vaso CABF pieno d'acqua insino a PG (*Tav. agg, fig.* 35), e nel suo fondo orizzontale sia aperto un piccol foro. Sarà manifesto dovere al primo istante uscirne la vena o cilindretto d'acqua DRET costantemente gravato dalla colonna DH dello stesso liquido che al foro anzidetto sovrasta. In oltre si consideri un altro cilindretto *dret* di materia dura eguale in densità e volume alla vena DRET, il quale cada liberamente nel vôto finchè descriva uno spazio eguale al suo asse. Sarà la forza acceleratrice della vena DRET alla forza che ne accelera il cilindretto *dret*, come la colonna o cilindro d' acqua DH al cilindretto *dr*. Imperciocchè la vena è spinta fuori del vase dalla divisata colonna, laddove il cilindretto discende gravato del proprio peso. Ma gli spazietti DT, *dt* si son supposti uguali; le velocità dunque di tali corpi alla fine di questi spazietti saranno come le radici di queste forze, ovvero come la radice di DK alla radice di *dt*, avendo i cilindri la stessa base. Potendosi lo stesso ragionamento applicare a'fori fatti nelle pareti dei vasi, si può generalmente conchiudere essere le velocità dei liquidi nello sgorgar per fori ne' fondi o nelle pareti de'vasi in suddupiicata ragione delle altezze di livello (3).

« Sesto Giulio Frontino, dice il nostro il-

(1) Questo fatto si può tradurre in equazione facilmente: imperocchè detto V il volume del galleggiante, v la porzione che rimane immersa nel fluido, e g, e g' le gravità specifiche del solido e del fluido, saranno gV il peso del solido e $g'v$ quello del fluido rimosso, e quindi nel caso di equilibrio

$gV=g'v$, donde si ricava $v=\frac{gV}{g'}$. Onde data l'altezza a di un prisma galleggiante, la base b, e le gravità specifiche g, g', si potrà trovare l' altezza x della parte immersa; imperciocchè si avrebbe in questo caso

$$v=bx=\frac{gV}{g'}=\frac{abg}{g'}, \text{ ossia } x=\frac{ag}{g'}.$$

L' equazione $v=\frac{gV}{g'}$ è rigorosamente nel vôto, giacchè nell' aria è da tener conto di un'altra spinta, essendo anche l' aria un fluido. Un' altra correzione merita l' equazione medesima per l' innalzamento o depressione del liquido intorno al galleggiante per la capillarità.

(2) Essendo $gV=g'v$ e $gV=g''v'$, si avrà $g'v=g'v'$, ovvero $g':g''=v':v$.

(3) Fergola, Prelezioni ecc.

» lustre N. Fergola, che fin da' tempi di Vespasiano scrisse sugli aquidotti di Roma, si avvide che la velocità dell' acqua uscente da un riservatojo dovea essere maggiore o minore, secondochè questo fluido vi avea più o meno di altezza; ed il P. Benedetto Castelli, che fu uno de' primi discepoli del Galilei, e primo maestro del Torricelli, ragionando con metodo geometrico sulla misura delle acque correnti, stabilì come un principio di esperienza che *le velocità delle acque sgorganti da' vasi ov'esse contengonsi debbon seguire la semplice ragione delle altezze di tali liquori*. Ma era riserbato al Torricelli di rettificar questa legge idraulica . . . . e di conoscer l'assoluta misura della velocità di un fluido zampillante ch'è quanto quella di un grave lasciatosi liberamente cadere dall'altezza del fluido sul foro.

Dalla dottrina del moto de' gravi poi rendesi aperto, che il liquido uscito da un foro movendosi con moto uniforme percorrerebbe uno spazio quanto la doppia altezza di livello nello stesso tempo in cui un grave scenderebbe per l' altezza medesima.

Supponiamo che nel vase CB (*Tav. agg. fig.* 35) il liquido sia tenuto costantemente al livello PG, quantunque ne sgorghi per lo foro RD, il che può farsi in vari modi siccome fu altrove notato. Conoscendo l' altezza KD., si potrà conoscere il tempo che un grave impiegherebbe a discendere per essa: ora per le cose dette apparisce nello stesso tempo dover uscire per lo foro RD un prisma acqueo avente per base l'area del foro e lungo quanto 2KD. E poichè nel caso di livello costante le quantità di acqua che escono dallo stesso foro si possono considerare come proporzionali a' tempi, così agevole riuscirà il determinare la quantità di acqua che deve uscire dall' anzidetto foro in un determinato tempo. Questa però sarebbe la portata teorica, i 5/8 della quale darebber poi l' effettiva (1).

III.

Ma se il vase non sia tenuto a livello costante, ognun vede la velocità e la portata dover decrescere, e quindi esservi molti altri problemi a risolvere, su i quali non m'intrattengo, inviando gli studiosi alla più volte citata opera del Bossut, dove tra le altre cose vedranno come un cilindro essendo alto 144 pollici, dividendone l' altezza in 12 parti secondo la serie 23, 21, 19, 17, 15 ec. si avrebbe una clepsidra o orologio ad acqua. Si potrebbe anche fare un vase di tal figura che in tempi eguali il liquido si abbassasse egualmente (1).

Tutte le antecedenti dottrine intorno allo sgorgar de' liquidi debbono valere nei soli casi ne' quali l'ampiezza del foro non oltrepassi 1/20 di quella del fondo del vase; imperciocchè nel caso di ampie aperture, l'uscita del liquido non è più dalla pressione della colonna superiore cagionata, mancando la resistenza delle ultime sezioni falde o *strati* che dir si vogliano, assolutamente necessaria perchè le parti superiori possano sulle inferiori esercitare la loro pressione. Ogni particella di liquido ubbidisce

(1) Dicasi s l' area del foro, a l' altezza di livello costante dell' acqua contenuta nel vase, q la quantità di acqua che ne sgorga in un tempo t, e t' il tempo che un grave impiega nel discendere per una altezza data a'; si avrà $\sqrt{a'} : \sqrt{a} = t' : \frac{t'\sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$, e questo sarà il tempo che un corpo impiegherebbe a discendere per KD. Ora durante questo tempo deve uscire dal foro RD un prisma o cilindro che abbia s per base e per altezza $2a$, e però la quantità di liquido che sgorgare deve nel tempo $\frac{t'\sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$ sarà espressa da $2sa$. Laonde le quantità di liquido che sgorgar debbono ne' tempi $\frac{t'\sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$ e t, essendo tra loro come questi tempi, avremo $\frac{t'\sqrt{a}}{\sqrt{a'}} : t = 2sa : q$, donde ricavasi $q = \frac{\sqrt{aa'}2ts}{t'}$. Delle sei quantità che entrano in questa formola se ne conoscono due, cioè $t' = 1''$, ed a' la quale espressa in metri è eguale a 4^m, 9 circa, siccome si è detto altrove: onde delle altre quattro t, s, a, q, semprecchè se ne conoscano tre, se ne potrà conoscere la quarta. Quindi per un altro vase si avrebbe parimente $q = \frac{2ts\sqrt{aa''}}{t'}$, e però le quantità di acqua che uscir debbono nello stesso tempo daranno la seguente analogia, cioè

$$q : q' = s\sqrt{a} : s'\sqrt{a''}$$

Così sapendosi dall' esperienza che da un foro circolare di un pollice di diametro fatto in una parete sottile sotto l' altezza di livello di 4 piedi escono 3436 pollici cubici di acqua, volendo conoscere quanta ne dovrà uscire da un foro di 2 pollici di diametro posto sotto la superficie di livello per 9 pollici, intavolerò quest' analogia.

$1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} = 5436$ pollici cubici ad x, e quindi si avrà $x = 32616$ pollici cubici di acqua.

(1) V. Fergola, Prelezioni ecc.

in questo caso alla gravità propria ed all'azione delle particelle contigue. Se per esempio si togliesse il fondo di un vase prismatico, il liquido cadrebbe senza aver bisogno di alcun impulso superiore. Nella varietà de' casi gioverà meglio interrogar l'esperienza. Volendosi de' lumi intorno a questa materia, si potranno consultare le opere del Bossut, del Prony, del Navier, del Brunacci, del Bidone, del Poncelet e d'altri, nelle quali si troveranno de' dati sperimentali alla pratica utilissimi.

IV.

Se ad uno de' fori considerati finora si adatti una cannella lunga quanto due o tre diametri del foro medesimo, la portata renderassi alquanto maggiore, particularmente se la cannella segua l'andamento della vena contratta, o se sia inclinata in vece di essere orizzontale. Ma se le cannelle sian molto lunghe, ovvero sian de' condotti, risulta dall'esperienza, che le quantità di acqua sgorgate in tempi eguali da uno stesso condotto orizzontale sotto una stessa altezza di conserva, ma a diversa distanza dal foro per lo quale l' acqua esce da quella, sono tra loro prossimamente in ragion reciproca delle radici quadrate di queste distanze. Se l' andamento de' condotti segue linee tortuose, o ripiegate ad angoli, la portata diminuisce anche di più. E segnatamente il moto dell'acqua soffre maggior ritardo ne' condotti che serpeggiano verticalmente, che in quelli che serpeggiano orizzontalmente, e la piegatura meno nociva, si è sperimentata quella che fa l'angolo d'incidenza eguale all' angolo di riflessione.

Spesso accade di dover conoscere l' effetto dell'urto di una vena fluida. Il Bossut dice risultar dalla esperienza che l' urto perpendicolare e diretto di un fluido qualunque contro un piano in quiete è sensibilmente eguale al peso di una colonna di questo fluido che abbia per base la superficie urtata e per altezza l'altezza dovuta alla celerità con cui urta. Dopo, il signor Zuliani per via di ripetute esperienze ha trovato, che una lastra esposta all' urto di una vena d'acqua corrente riceve un urto eguale al peso di un cilindro che abbia per base la superficie urtata, e per altezza il doppio dell' altezza dovuta alla celerità, se la lastra abbia un' ampiezza notabilmente maggiore di quella della vena, di $\frac{3}{4}$ di quest' altezza se la lastra sia quasi della stessa ampiezza della vena. Il signor Morosi poi ha scoperto, potersi accrescere di molto l' effetto dell' urto contro la suindicata lastra contornandola con un orlo rilevato; e l'aggiunta di quest' orlo, secondo i calcoli del Venturoli, può render l'urto eguale al peso di un cilindro fluido che abbia la base quanto la superficie urtata e l' altezza quanto il quadruplo di quella dovuta alla celerità.

V.

Oltre alle macchine mosse dall' acqua, che pur diconsi macchine idrauliche, ed oltre alle trombe delle quali si è altrove discorso, altre ve n'ha che servono anche ad innalzare l'acqua, quali sono gli *altaleni idraulici*, la così detta *noria*, *i bindoli idraulici*, i *timpani idrovori*, e le coclee *idrovore*, cui si può anche aggiungere la *macchina a corda*, altrimenti detta *macchina di Vera*.

Darò solo un'idea della coclea di Archimede e della macchina di Vera, non essendomi permesso di estendermi tanto intorno a questa materia.

La coclea di Archimede è un cilindro intorno al quale si avvolge un tubo spirale curvato ad elica, il quale comincia ad un capo del cilindro e termina all' altro. L'anzidetto cilindro si pone inclinato all'orizzonte, e si dispone in guisa che con una sua base peschi ma non del tutto nell'acqua. Rivolgesi poi intorno al suo asse in modo che l' estremo inferiore del tubo possa successivamente immergersi nell' acqua ricevendone una porzione per volta. Proseguendo così, l'acqua si va innalzando nel tubo spirale, e va ad uscire per l' orifizio superiore di esso.

Non è difficile l'intendere come accade che l'acqua s'innalzi in questa macchina. « Immerso » il foro del tubo, la spira nel voltarsi riceve » una porzione dell'acqua che vi entra, ed ivi » come per un piano inclinato discende, empiendo la più bassa parte della spira. Dicesi » questa parte *arco idroforo*. Seguitando la » conversione del cilindro, l' arco idroforo emerge dal livello del recipiente seco traendo » l'acqua rinchiusavi, la quale segue tuttavia » discendendo pel proprio peso verso la parte » opposta alla direzione del movimento del » cilindro, e così va scostandosi dalla spira » inferiore. Questa intanto seguendo il giro » del cilindro torna ad immergersi col suo » foro, e torna a riempiere l'arco idroforo ed » a sollevarne l'acqua. Quest'acqua non può » più raggiunger la prima che in questo frattempo si è avanzata per le spire dell' elice, » rimane fra le due uno strato d' aria introdottasi nel tempo che il foro del tubo rimase fuor d' acqua. Così perpetuandosi il

» giro, altre ed altre correnti d'acqua si vanno succedendo con altrettanti tratti aerei.
» E queste giungendo l'una dopo l'altra alla
» cima, si scaricano con getto intermittente
» dal foro superiore (1).

La teoria matematica di questa macchina fa conoscere quale inclinazione debbano avere le spire intorno al cilindro perchè si abbia l'effetto.

Vitruvio descrisse la maniera di fare la coclea o vite di Archimede, e Daniele Bernouilli propose alcune modificazioni per le quali si avrebbe una portata maggiore.

Nel 1780, un tal Vera attingendo l'acqua dal suo pozzo vide che una porzione di fune bagnata traeva seco una notabile quantità di acqua; egli tosto si avvisò di far girare velocemente una fune intorno a due carrucole fisse, l'una delle quali fosse immersa nell'acqua e l'altra al punto ove voleasi che questa ascendesse, e la sua idea ebbe un felice successo. Per non far disperdere l'acqua che la fune ascendente abbandona nel passare per la girella superiore, si chiude questa in una cassetta alla quale è unita una cannella di scolo. Ognuno comprenderà che facendo rotare la girella superiore si avrà il moto della fune necessario per conseguire l'effetto.

CAPO IX.

DEL MOTO DE' GAS.

113. Possono i gas del pari che i liquidi sgorgare per fori fatti in sottili pareti, o per tubi e cannelle: possono egualmente sgorgare sotto pressioni costanti, o variabili. Gli strumenti mercè i quali si fanno uscire i gas sotto pressioni costanti si dicono *gassometri*.

114. *De' gassometri.* — Lo sgorgare costante di un gas, quando si voglia molta esattezza, è prodotto da quello di un liquido; ed il vaso di Mariotte è per ciò comodissimo. In questo caso si dispone nel modo espresso dalla figura 133. Il grosso collo del recipiente è incollato nel riserbatoio del gas; l'acqua cade per lo foro v; se ve ne giungan 20 litri in un secondo, è forza che 20 litri di gas ne sian cacciati nello stesso tempo pe' fori o tubi di uscita. Per applicare questo principio a' gas diversi dall'aria, si raccolgono in grandi vesciche o in palloni di quelle pellicole fatte d'intestini di bue nelle quali si avvolge l'oro per metterlo in foglie (*baudruche*), i quali si chiudono in un altro riserbatoio: l'aria che esce dal primo riserbatoio va nel secondo, esercita una costante pressione su queste membrane elastiche, ed ingenera una costante uscita di gas.

I grandi gassometri del *termolampo* (2) son fabbricati sopra un altro principio: un cilindro ad un sol fondo (*fig.* 166) è capovolto sopra una gran vasca d'acqua. Questo cilindro è di sottili lamine metalliche ed ha per esempio 10 metri di diametro, contien 100 metri cubici di gas, e suppongo che pesi 10000 chilogrammi. Esso non scende nell'acqua, perocchè è pieno di gas, ma preme col suo peso sul gas e lo mantiene sotto una pressione un po' più grande della pressione atmosferica. Nella nostra ipotesi questo di più di pressione sarebbe di 1000 chilogrammi sopra una base di 10 metri di raggio, il che equivale presso a poco ad una colonna d'acqua di 10 centimetri. S'immagini ora che dal fondo della cisterna venga un tubo il quale si apra alquanto sopra del livello dell'acqua entro del gassometro, e che dall'altra parte si divida in mille ramificazioni terminate da'becchi del termolampo, s'intenderà facilmente che basterà voltare una chiavetta per illuminare una grande città. Lo sgorgar del gas sarà costante, perciocchè il gassometro perderà appena una picciolissima parte di suo peso scendendo nell'acqua della vasca; del resto si può mercè di contrappesi dare al gassometro una regolarità maggiore, ovvero moderare la sua pressione. Per empire il gassometro, si chiude la chiavetta di distribuzione, e se ne apre un'altra la quale stabilisce la comunicazione tra le storte dove il gas si forma ed il tubo verticale che dal fondo della vasca si eleva fino sull'interno livello dell'acqua.

115. *Legge dello sgorgar de' gas secondo la teoria di Daniele Bernouilli.* — Daniele Bernouilli supponeva il teorema di Torricelli esser vero non solo pe' liquidi, ma anche pei gas; e partendo da questo principio esprimeva la velocità dello sgorgare de'gas con la seguente formola.

$$v = \sqrt{2g \cdot p \frac{\varpi}{\varpi'}} \cdot \sqrt{(1+at)\left(1-\frac{h'}{h}\right)}.$$

v è la velocità di scolo corrispondente al minuto secondo, espressa in metri.

g la gravità ossia $9^m,8088$.

ϖ è il peso dell'unità di volume del liquido che serve a misurare la pressione normale dei fluidi elastici.

(1) Venturoli, Elem. di Mecc. vol. II.

(2) Chiamasi così quel grande apparecchio che serve per fare le illuminazioni a gas.

ϖ' è il peso dell'unità del gas che scorre, preso alla temperatura 0 e sotto la pressione normale.

p esprime in metri l'altezza della colonna liquida che misura la pressione normale di cui di sopra è detto.

a è il coefficiente di dilatazione del gas.

t la sua temperatura.

h la pressione *interna* cioè quella che il gas soffre nel riserbatoio d' onde esce.

h' la pressione esterna cioè quella che si oppone all'uscita del gas.

Supponesi che il gas esca per un orifizio fatto in pareti sottili e la cui sezione sia picciolissima per rispetto a quella del gassometro che dà il gas, ed a quella del gassometro o dello spazio che lo riceve, e che le pressioni h ed h' non varino durante l'esperienza.

Se prendasi per pressione normale la pressione atmosferica misurata da una colonna di mercurio, si avrà nello stesso tempo $p=0^m,76$; $\varpi=13598^K$, se si tratta dell' aria si avrà anche $\varpi'=1^K2991$, e la forma diventa.

$$v=395\sqrt{\left(1+at\right)\left(1+\frac{h'}{h}\right)}.$$

Se si tratta di un altro gas la cui densità sia d per rispetto all'aria, si avrà per esso ϖ'' in vece di ϖ', e nello stesso tempo

$$\frac{d}{1}=\frac{\varpi''}{\varpi'},\ \text{ovvero}\ \varpi''=d\,\varpi',$$

e la formola si presenta sotto la forma

$$v=395\sqrt{\left(\frac{1+at}{d}\right)\left(1-\frac{h'}{h}\right)}.$$

Essa allora è perfettamente generale ed applicabile ad un gas qualunque, la cui densità per rispetto all'aria sia d.

In quanto alle pressioni h' ed h, siccome esse vi entrano per la ragione che hanno, così possonsi a piacimento esprimere in acqua o in mercurio. Facendo il calcolo per l'aria alla temperatura 0 e per le pressioni vicine alla pressione atmosferica, si trovano i risultamenti che seguono.

ECCESSO DI PRESSIONE in mercurio	VELOCITA' in 1'' in metri
2 millimetri	10 metri
5	32
10	45
20	64
30	78
40	91
50	101
60	111
100	135
150	160
200	180

Laonde per piccolissime differenze di pressione l'aria prende velocità d' altronde diversissime.

Se si esprima con s la sezione, in metri quadrati, dell'orifizio per lo quale l' aria esce, sv misura il volume che n'esce in 1'' ed svn quello che n' esce in un numero n di minuti secondi: questo è ciocchè dicesi la portata teorica, la quale essendo dinotata con m, si avrà per cotesta portata espressa in metri cubici.

$$m=svn.$$

Deriva da'principii medesimi che conducono al valore generale della velocità, che questo volume costituente la portata è misurato sotto la pressione *interna* h e non sotto la pressione esterna h'.

Per verificare la formola con l'esperienza, si empie un gassometro, si osservano le pressioni, si misura l'orifizio; si tien conto del tempo in cui dura l'esperienza, e per vari modi si misura il volume d'aria uscito ovvero la *portata effettiva* m'. Allora dinotando con v' la velocità reale sconosciuta si avrà

$$m' = sv'n, \text{ d' onde } v' = \frac{m'}{sn}.$$

Or l'esperienza dimostra che questa velocità non coincide con la velocità teorica v la quale si ricava dalle pressioni osservate.

Si trova $v' = 0,65\ v$ per gli orifizi in pareti sottili;
$v' = 0,93\ v$ per le cannelle cilindriche;
$v' = 0,94\ v$ per le cannelle alquanto coniche e ristrette al di fuori.

Siccome cotesti risultamenti somigliano quelli che si hanno co'liquidi in cui la contrazione della vena fluida è un fenomeno apparente e misurabile, così se ne inferisce che ezlandio ne' gas la vena si contrae. Allora la velocità teorica diviene giusta, ma invece di considerarla nella sezione del foro, è mestieri applicarla ad una sezione minore nelle proporzioni di sopra indicate.

Laonde la portata effettiva potrà essere espressa generalmente così

$$m = ksvn.$$

Dove k è il *coefficiente della portata*, o la contrazione il cui valore varia da 0.65 fino a 0,93. o 0,94, secondo che si tratta di orifizi fatti in pareti sottili, di cannelle cilindriche o di cannelle alquanto coniche come quelle dei mantici; v la velocità teorica, s la sezione dell'orifizio, ed n il numero de' minuti secondi corrispondenti alla portata m'.

Per la qual cosa la pressione essendo di circa due centimetri di mercurio nella fucina del maniscalco, di 3 ne' fornelli alla Wilkinson, di 3 a 6 ne'grandi fornelli a legna secondo che il carbone è tenero o duro, di 10 a 20 ne'grandi fornelli a carbon fossile; si vede che l'aria prenderebbe nella cannella delle velocità comprese tra 70 e 160 o 180 metri per minuto secondo, se la formola di Bernouilli fosse applicabile a quest'ultimo caso; ma vedremo che sotto queste forti pressioni egli è poco probabile che l'aria prenda velocità maggiori di 100 metri; almeno quando voglia intendersi per velocità non quella propria delle molecole fluide la quale resta perfettamente sconosciuta, ma la velocità ridotta cioè quella il cui valore si ha paragonando il volume del gas che esce alla interna pressione del riserbatolo.

Si possono intanto queste velocità paragonare a quelle del vento le quali, per quanto si cava da non ben sicure osservazioni, sembrano esser conformi alla seguente tabella.

TAVOLA DELLE VELOCITA' DEL VENTO.

INDICAZIONI.	VELOCITA' per secondo in metri	VELOCITA' per ora in chilometri
Vento solo sensibile	1	3,6
Vento moderato	2	7,2
Vento regolare (tende le vele)	6	21,6
Vento il più proprio pe' molini	7	25,2
Vento teso ottimo per le vele	9	32,4
Vento forte che fa piegare le alte vele	12	43,2
Vento fortissimo	15	54,0
Vento impetuoso	20	72
Gran tempesta	27	97
Uragano	36	129,6
Uragano che abbatte gli edifizi	45	162

Laonde gli uragani più violenti risponderebbero ad una differenza di pressione di circa un centimetro di mercurio e basterebbe una differenza di uno o due millimetri per produrre de' venti anche fortissimi.

116. Appartiene al Combes la invenzione di un *anemometro*, il quale oggi è generalmente adoperato pe misurare la velocità del vento o quella delle correnti di aria delle miniere; esso è rappresentato sopra una scala a metà, nella figura 17 tavola 11. Esso è formato da un piccolo mulinello a quattro ali inclinate, il cui asse *a* porta una vite perpetua che fa muovere la ruota *r* ed a ciascun giro di questa la ruota *r'* gira per un dente. Mercè l'asta *t* l'apparecchio si dispone in modo che il suo asse sia nella direzione della corrente: in un dato istante si tira una delle corde *c* che rimuove il pezzo di ritenuta *d*; tosto le ali girano ed in pochi minuti secondi prendono tutta la loro velocità. Dopo 2 o 3 minuti secondi si tira l'altro laccio *c'* per far procedere il pezzo di ritenuta in verso contrario ed arrestare il moto. In tal modo si conoscerà il numero di secondi in cui lo strumento si è mosso ed il numero di giri che ha fatto, perocchè questo numero si legge sulle ruote *r* ed *r'*. Dividendo questo secondo numero pel primo si avrà il numero *n* di rivoluzioni in 1''; questo numero sostituito in un'equazione della forma

$$v = 0^{m}, 2578 + 0916\, n,$$

la quale risulta dalla graduazione dello strumento, se ne ricava la velocità *v* espressa in metri e riferita ad 1'' (*Ann. des Mines*, t 13. 1838). L'anemometro di Combes pare che debba dare con grande approssimazione le velocità comprese tra un mezzo metro e 5 o 6 metri e forse anche 10 metri. La formola sicuramente non sarebbe la stessa se si trattasse di grandi velocità, ma per queste potrebbesi senza alcun dubbio fare un apparecchio meno delicato, il quale cominciasse solo a segnare le velocità quando giungono a 3 o a 4 metri.

117. La formola di Bernouilli, siccome abbiam detto, non si applica se non che al caso di orifizi piccoli per rispetto al riserbatoio, e fatti in pareti sottili o muniti di cortissime cannelle. Aggiungeremo di più ch'essa restringesi a' casi in cui la differenza di pressione non oltrepassa 10 centimetri di mercurio. Quando il gas scorre per lunghe cannelle è mestieri fare uso di altre formole molto più intrigate, nelle quali entrano le lunghezze ed i diametri de' condotti.

Quando la differenza di pressione diventa considerevole, ancorchè gli orifizi sian piccoli ed in sottili pareti, conviene eziandio far ricorso ad altre formole, ed è poco probabile che si prevenga a conclusioni generali. Questo almeno par che venga indicato da un notevole lavoro fatto sul proposito da' signori Barrè de Saint-Venant e Wanzel (*Journal de l'École Polytechnique t.* 16, 1839). Risulta in fatti dall'esperienze fatte con molta cura da questi due abili osservatori, che l'aria, presa alla pressione ordinaria ed entrando nel vuoto, non ha maggiore velocità di quella che avrebbe se entrasse in un riserbatoio dove, si trovasse una pressione compresa tra 0 e 30 centimetri di mercurio. Sembra dunque esservi, almeno per questo caso, un massimo di velocità, che giunge a 158 metri se l'orifizio è in pareti sottili, a 178 metri se è slargato sopra, ed a 192 se è slargato sopra e sotto. Coteste erano, siccome abbiamo di sopra notato, le *velocità ridotte*.

Tali risultamenti mostrano che la formola di Bernouilli non è più applicabile, quando la differenza delle pressioni giunge a 10 o 12 centimetri di mercurio, perocchè essa allora dà una velocità di 130 in 150 metri, nell'atto che l'esperienze de' signori Saint-Venant e Wanzel indicano al massimo un centinaio di metri per le stesse pressioni.

Egli è molto da desiderare che siffatte esperienze siano ripetute sopra altri gas come l'idrogeno, e per altre pressioni siccome quelle degli archibusi pneumatici; perocchè pare impossibile che un fluido impartisca ad un projettile una velocità maggiore della propria; e intanto nell'archibuso pneumatico la velocità de' projettili può oltrepassare i 300 metri.

Le velocità reali delle molecole sarebbero dunque di gran lunga maggiori della velocità ridotta; ma resterebbero a determinarsi le attenenze scambievoli, perchè non pare che le medesime siano fedelmente rappresentate dalla ingegnosa notabile teoria cui il Navier fu condotto. (V. *Mem. de l'Accad. des sciences*, 1830, *ed il lavoro sopra citato de' Signori Saint-Venant* e *Wantzel*).

118. *Macchine per soffiare.* — Nei fornelli ad alte temperature, e pe' grandi fuochi delle fucine si adoperano alcune macchine da soffiare di svariatissime forme (1) Noi abbiamo espressa nella *fig.* 167 quella di cui al presente si fa uso nei migliori stabilimenti: *cc'* è un cilindro metallico lisciato; *p* uno stantuffo, la cui asta *t* passa per una cassetta foderata di stoppa *d*; lateralmente a ciascuno dei fondi

(1) V. Péclet, p. cit.

superiore ed inferiore del cilindro sonovi due animelle *a*, *b'*, ed *a'*, *b*. Le due *a* ed *a'* sono *d' inspirazione*, aprendosi di fuori in dentro; le due *b*, *b'* sono di *espirazione*, aprendosi di dentro in fuori. Una ruota idraulica, ovverò una macchina a vapore, imprime allo stantuffo il moto di va e vieni. Si comprende che durante la discesa dello stantuffo restano aperte soltanto le animelle *a*, *b*, la prima inspirando l'altra espirando; l'opposto avviene allorchè lo stantuffo ascende. L'aria espirata è compressa e raccolta nel tubo *gh* per esser quindi recata al fuoco.

Il *mantice di appartamento* (*fig.* 178) è in un certo modo più intricato della macchina a stantuffo; ma da quello che abbiamo innanzi detto agevole riuscirà di comprenderne gli effetti: quando le due ali *m* ed *m'* si allontanano la pressione interna scema col farsi maggiore lo spazio, allora vince la pressione atmosferica alzando l'animella *s'* ch'è un pezzo di cuojo incollato verso gli orli ed applicato all' apertura o *anima del mantice;* in pari tempo l' animella *s* resta chiusa, per effetto dell'aria contenuta nel secondo compartimento che comunica con la cannella *d*. E per contro quando le ali si avvicinano, l'aria comprimendosi chiude l'animella *s'* ed apre l' altra *s*, per passare nel secondo compartimento ed uscire.

Il mantice da maniscalco non è altro fuorchè un gran mantice di appartamento.

119. *Delle pressioni laterali de' gas durante il loro sgorgare.* — Nelle macchine da soffiare delle grandi fucine avviene un notabile fenomeno, descritto dal sig. Clement-Desormes (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 36, p. 69). Fatto un foro di 1 o 2 pollici di diametro nella parete piana di un riserbatoio di aria compressa, questa si vede uscire con gran violenza; ma se vi si accosti un disco di legno o di metallo di 7 in 8 pollici di diametro, e dopo di aver vinta la prima resistenza si applichi sul foro, non sarà più come prima respinto, ma esso si vedrà oscillare rapidamente avvicinandosi al foro e scostandosi da quello per picciolissime distanze; l'aria intanto con grande strepito, tra la parete del riserbatoio e la superficie del disco, continua ad uscire, ed un grande sforzo si richiederà per rimuovere il disco; che sebbene staccato dalla parete, pure vi sembra incollato. Il sig. Clement-Desormes dà di questo fenomeno una spiegazione la quale a' principî del moto de' fluidi sembra interamente conforme. La vena che esce dal foro deve spandersi in sottilissime falde per poter passare tra il disco e la parete (*fig.* 175); rimanendo la grossezza la stessa, deve allargarsi a misura che si avvicina alla circonferenza del disco; e però trovasi nel caso di una vena fluida che deve empire un cono le cui sezioni vadan sempre crescendo, donde conseguir ne dee una maniera di succiamento, perfettamente simile a quello che nelle cannelle coniche abbiam veduto avvenire.

LIBRO SECONDO

DEL CALORE.

NOZIONI GENERALI

120. L' ARIA, l' acqua ed i vari corpi della natura possono generare in noi alcune particolari sensazioni che diconsi di *caldo* o di *freddo*. Coteste sensazioni nascono in noi o allorchè tocchiamo immediatamente i corpi, o allorchè siamo molto lungi da essi, e son di tal fatta che dalla sostanza de' corpi medesimi non le possiam in verun conto reputare cagionate. Trovandoci in faccia ad un fuoco acceso, giudichiam di leggieri non esser punto la materia del carbone, che sotto invisibile forma ci venga a toccare ed a riscaldarci; e quando ci vengon sopra i raggi del sole, in simil guisa giudichiamo non esser la materia ponderabile del sole, che scenda verso la terra a recare sugli occhi nostri la sensazione di luce, nè quella di calore sulle altre parti del nostro corpo. V' ha dunque un *agente*, distinto dalla sostanza propria de' corpi, il quale sta nella massa de' medesimi, estende la sua azione a certe distanze, pone una perenne comunicazione tra i corpi e noi, ed è la causa delle sensazioni di caldo e di freddo che noi proviamo. Questo agente ha ricevuto diversi nomi: da prima essendosi confusa la causa con l'effetto, fu chiamato *calore:* dipoi essendosi avute idee migliori intorno alla maniera di sua esistenza fu detto *fluido igneo*, *materia del fuoco*, *ec.*; da ultimo, al tempo della riforma della nomenclatura chimica, fu da Lavoisier, Berthollet, Morveau e Fourcroy chiamato *calorico*. Fu questa voce da tutt' i fisici ricevuta, e la voce *calore* fu riserbata a significare la scienza che tratta delle proprietà, delle leggi e degli effetti del calorico.

Vuolsi per altro avvertire non tutti strettamente tenersi a queste definizioni, ed accadere sovente che la voce *calore* sia adoperata per dinotare lo stesso agente produttore de' fenomeni, e la voce *calorico* si adoperi a significare l'insieme delle nostre conoscenze risguardanti cotesti fenomeni con le loro leggi.

121. Il calorico opera non solo sopra i corpi organici, ma eziandio sugl' inorganici; e

per fermo, il diaccio si può liquefare, l'acqua può bollire, il ferro si può rendere incandescente, e tutti questi fenomeni ed altri di simil fatta è forza che abbiano una causa, la quale siccome da' nostri sensi ci viene attestato, è appunto il calorico. V'ha tale corrispondenza, tale simultaneità tra queste modificazioni, che accadono ne'corpi ed i cambiamenti che succedono nelle nostre sensazioni, che quasi non temiamo punto d'ingannarci allorchè facciamo questo giudizio. Queste sole indicazioni possono esser sufficienti per distinguere i fenomeni del calorico, e stabilire prima di ogni altro l'ordine secondo il quale noi dobbiamo studiarli.

Divideremo in due parti la teoria del calore. La *prima parte* si verserà intorno a' *due effetti fisici* che il calorico produce nei corpi, cioè: 1°. il *cambiamento di volume*, ossia la *dilatazione*; 2°. il *cambiamento di stato*, ovvero il passaggio dallo stato solido allo stato liquido, e da questo a quello di vapore.

La *seconda parte* avrà per obbietto: 1°. la *propagazione del calorico*, la quale comprende la *conducibilità*, ossia la propagazione per contatto, ed il *calorico raggiante*, ovvero la propagazione a distanze; 2°. la *calorimetria*, cioè la misura delle quantità che son necessarie per far nascere alcuni determinati effetti.

Incominceremo dal dare una prima idea de'fenomeni che servon di fondamento a queste divisioni della teoria del calorico; e queste indicazioni generali si rendono tanto più necessarie, in quanto che non possiamo sporre la seconda parte del calorico, senza aver prima trattato dell'Ottica.

122. Cambiamento di volume. — Abbiam veduto (§ 13) che il calorico dilata tutt'i corpi, che il volume di un corpo qualunque dipende dal grado di calore che prova, e che, poste tutte le altre cose eguali, sotto lo stesso grado di calore esso ha sempre lo stesso volume. Dobbiamo ora per far meglio intendere questa proposizione esplicarla e rischiararla con qualche esempio.

Per rendere aperta la dilatazione de' corpi solidi si può fare uso dello strumento espresso dalla *fig.* 201, in cui *t* dinota la verga sottoposta all' esperienza; un estremo è fermato mercè la vite *v*, mentre che l'altro rimane libero, appoggiandosi contro la leva mobile *ab* molto vicino al suo fulcro *a*; questa leva dal canto suo va ad urtare l' indice *g* molto vicino al suo centro di moto, e fa che cotesto indice percorra sul quadrante *c* un arco più o meno grande. Una molla *r* convenientemente disposta mantiene le suddette parti in contatto, sia quando la verga per caldo si allunga, sia che raffreddandosi si accorcia. La verga si riscalda con fiamma a spirito contenuto in apposita vaschetta.

Quando per combinazioni di leve l'allungamento si mostra molto ingrandito, basterebbe portare lo strumento da una stanza più calda in una più fredda, o da una più fredda in una più calda per vederle l'indice muoversi sensibilmente sul quadrante.

Tali effetti si appalesano in questo caso, solo secondo la lunghezza della verga, ma è agevole intendere che i medesimi si avverano eziandio nelle altre dimensioni.

La lentezza de'moti dell' indice mostra, che il calorico penetra i corpi lentamente e di falda in falda.

Ecco l'esperienza che anche più chiaramente dimostra siffatta verità: *a* è un globo di vetro di un terzo o di un quarto di litro, cui è saldato un cannello di due o tre millimetri di diametro interno; il medesimo è pieno di acqua di olio o di acquarzente, ed il sommo della colonna liquida, alla temperatura dell' ambiente in cui si opera, deve corrispondere verso la metà del cannello.

Se questo globo prontamente s' immerga in acqua calda e tosto si alzi, si osserverà la colonna liquida discendere un momento e poscia elevarsi al di sopra del primitivo livello. La ragione di ciò è chiara, perocchè da prima il calore investendo le pareti del globo ne aumenta la capacità e fa discendere il liquido, il quale, a sua posta riscaldandosi poco appresso e dilatandosi più del vetro, ascende in modo da sorpassare il livello di prima.

L' opposto avverrebbe tuffando il globo in un bagno più freddo.

Nel primo caso il liquido dello strumento riceve calorico dal bagno, nel secondo cede a questo una porzione del suo. Ma in qualsivoglia modo che tale passaggio intervenga, esso si compie sempre in un tempo considerevole, che non dipende solo dalle masse, sulle quali si opera.

Lo stesso strumento, vale a dimostrare la dilatazione de' liquidi per l'azione del calorico come il loro restringersi pel freddo, e questi effetti saranno tanto più grandi per quanto maggiore è la massa contenuta ne' globi.

La dilatazione de' fluidi aeriformi si può dimostrarla nelle pubbliche lezioni mercè gli strumenti dinotati delle *fig.* 207 e 208 della *tav.* 9.

Nel secondo di questi il gas contenuto nel serbatojo *a* preme sul liquido che trovasi nel globo *b*, ed in ragione che si riscalda, e si di-

lata fa ascendere il liquido lungo la scala *d;* quando per contro raffreddandosi si restringe, la sua elasticità scemando la pressione dell'atmosfera, fa discendere la colonna liquida.

Nel primo poi in cui il serbatojo *a* contiene uno o due litri di gas, quando questo per caldo si dilata spinge il liquido del globo *b* nell'altro *c* e scappa via in bollicine attraversando questo liquido. Riscaldando il serbatoio con lampada a spirito si può fare uscire gran numero di bolle. Ma, tolta la lampada, l'aria del recipiente si restringe, la pressione atmosferica diviene predominante, il liquido ripassa di *c* in *b* e le bolle ch'erano uscite rientrano tanto più velocemente, per quanto più pronto segue il raffreddamento.

Cotesti due opposti fenomeni potrebbero essere generati dalle variazioni barometriche, ma noi supponiamo che l'esperienza si faccia sotto la stessa pressione.

Questi esempi bastano a mostrare, che i volumi di tutt'i corpi solidi liquidi e gassosi dipendono dal grado di calorico, cui sono esposti.

La *temperatura* di un corpo è il grado di calorico dello stesso; onde le temperature valutate co' nostri sensi in modo vago ed incerto, possono ora esser misurate con precisione e certezza mercè le dilatazioni.

Tutti gli strumenti ordinati a misurare le temperature si chiamano *termometri*, ma si suol dare il nome di *pirometri* a quelli, che sono acconci a misurare temperature molto elevate.

Il termometro più comune e di cui bisogna dar prima un' idea è il *termometro a mercurio* che è espresso dalla figura 176; la *pallina b* è piena di mercurio, il quale si eleva nel tubolino *t* fino ad una certa altezza *h*, la quale dipende dalla temperatura. Quando la pallina si riscalda, il mercurio cresce di volume, il termometro *sale*, e si dice che la *temperatura si eleva:* allorchè si raffredda il mercurio diminuisce di volume, il termometro *discende*, e la *temperatura si abbassa:* sempre che il termometro si riduce allo stesso punto ovvero ritorna ad avere lo stesso volume, la temperatura è la stessa. Se si prendesse un altro termometro a mercurio, più grande o più piccolo del primo, cotesti due strumenti ascenderebbero e discenderebbero insieme; ma gl' innalzamenti e gli abbassamenti potrebbero essere differentissimi: supponendo infatti i *riserbatoi* eguali, se per esempio il tubo del primo avesse un diametro dieci volte più piccolo di quello del secondo, in esso il mercurio percorrerebbe uno spazio cento volte maggiore; talchè salendo nel primo per cento millimetri, salirebbe per un sol millimetro nel secondo, e però l' uno avrebbe dell' altro una sensibilità cento volte maggiore.

Cosiffatti termometri potrebbero appena valere ad indicare le temperature *eguali*, *più alte*, o *più basse* dall' osservare la cima della colonna ritornata allo stesso punto, ovvero sopra o sotto del medesimo. In tal modo potrebbe anche tornare di qualche utilità alla scienza; ma ciò che v' ha d' importante nei termometri è la *graduazione*; perciocchè graduandoli si giunge ad esprimer le temperature per mezzo di numeri, a paragonarle tra loro, ed a dedurne le leggi del calorico.

I principî per la graduazione de'termometri sono appoggiati sul fatto di alcuni fenomeni, i quali avvengono sempre sotto la stessa temperatura. Tenendo infatti uno de' termometri precedenti nella palma della mano, si vedrà montar su più o meno, secondo che le mani saran più calde o più fredde; ma se si avrà la sofferenza di aspettare e di tenere le mani unite, fino a che siansi riscaldate al maggior grado possibile, si vedrà il termometro tenuto fra queste lentamente salire fino ad un certo termine, cui sempre giungerà senza oltrepassarlo mai. In tutte le stagioni, sotto qualsivoglia clima, ed in qualunque individuo, giugnerà sempre al punto medesimo o lì presso. Onde la temperatura del corpo umano è una temperatura costante, è dà un *punto fisso*, che potrebbe servire di principio per valutare le temperature in numeri. Ma vi sono altri fenomeni assai più invariabili, ai quali perciò più comodamente si ricorre, quali sono, per esempio, i cambiamenti di stato de' corpi.

123. Cambiamento di stato. — La maggior parte de'corpi solidi possono passare allo stato liquido: così il diaccio si liquefà, e nasce l' acqua che è composta de' medesimi elementi chimici del diaccio, e la differenza sta solo nella diversa maniera di raunamento delle molecole: dicasi lo stesso della cera, del piombo, dell' oro, del ferro, ec., tali corpi diconsi fusibili, perciocchè i loro materiali elementi, senza essere separati o chimicamente alterati, possono mercè l' azione del calorico diventar liquidi e poi nuovamente solidi ritornare.

La maggior parte de' corpi liquidi possono esser convertiti in vapore o in fluido elastico; così facendo bollire l'acqua in un vaso, si vedrà questa rapidamente scemare, e frattanto le molecole di acqua, che sembrano sparire, non sono nè distrutte nè chimicamente alterate: esse si riducono in vapori, cioè si convertono

in un fluido elastico simile all'aria, in guisa che se questo vapore si raccolga e quindi si raffreddi, si vedrà rinascere perfettamente tutta l'acqua che era scomparsa. Dicasi lo stesso dell'alcool, dell'etere, del mercurio, dello zinco, del sale comune, ec.

Per produrre cotesti cambiamenti di stato, cioè per *liquefare* o *ridurre in vapori* i corpi, è mestieri condurli ad una certa temperatura. Or si è da prima osservato un fatto fondamentale, cioè che uno stesso corpo si liquefà sempre precisamente alla temperatura medesimo: così nel *diaccio in liquefazione* un termometro torna sempre perfettamente allo stesso punto, o che il diaccio siasi fatto artificialmente o che naturalmente siasi formato sulle cime de' monti, su fiumi o sul mare. Lo stesso dicasi della cera, del piombo, ec. Ogni corpo dunque ha un punto di liquefazione perfettamente fisso.

Si è poi osservato avvenire lo stesso per lo *punto di ebollizione*; infatti quando l'acqua vigorosamente bolle, col rendere il fuoco più intenso, si giungerà a farla più celeremente bollire, ma non mai a farla riscaldare di più: il termometro resterà in essa perfettamente stazionario: avviene lo stesso per gli altri liquidi, avendo ciascuno il suo punto di ebollizione. Dobbiam per altro aggiungere, il punto di ebollizione variare in ogni liquido, al variar della pressione che soffre la superficie del medesimo, e perciò al variar dell'altezza del barometro; ma rimanere lo stesso sotto la stessa pressione.

Supponiamo intanto che si prendan due punti fissi, quello del diaccio in liquefazione, per esempio, e quello dell'acqua bollente, e che avendoli entrambi segnati sul tubolino del termometro, si divida la distanza che passa tra l'uno e l'altro in 100 parti eguali, e che la divisione si continui al di sopra ed al di sotto di questi punti; si avrà in tal modo un *termometro graduato*, il quale si dice *termometro centesimale* (1). Lo *zero* ossia il cominciamento della scala si mette al punto del diaccio in liquefazione, e le divisioni che sono sotto allo zero si distinguono col segno *meno*: così — 10°, — 20° significa dieci gradi, venti gradi al di sotto della liquefazione del diaccio.

124. **Diffusione del calorico.** — Il calorico si diffonde nell'interno de' corpi per contatto, ed a distanze passando a traverso dell'aria o di altri mezzi.

Nel contatto esso si espande di falda in falda fino alle più interne molecole de' corpi. I pezzi di ferro per esempio messi al fuoco di una fucina son da prima scaldati alla loro superficie, ma poi il calorico, a poco a poco avanzandosi, giunge a penetrare tutta la massa circondata dal fuoco. Questa interna diffusione di calorico è detta *conducibilità* o *condutibilità*; essa è più o men rapida, secondo la natura de' corpi. Si dicon *buoni conduttori* quelli attraverso de' quali il calorico facilmente passa, e che presto prendono quella temperatura che debbono avere; e *cattivi conduttori* quelli che più difficilmente sono penetrati dal calorico, e prendon più tempo nel porsi alla stessa temperatura in tutte le loro parti. I metalli sono generalmente dei buoni conduttori.

Il vetro, lo zolfo, il carbone, le pietre di varie sorte, tutte le sostanze vegetali ed animali, son generalmente cattivi conduttori; i liquidi ed i gas sono i peggiori conduttori che si conoscono.

A distanza il calorico si diffonde quasi come la luce: esso passa per lo vacuo con molta velocità, appunto come la luce attraversa gli spazi celesti; passa per alcuni corpi senza fermarvisi, senza renderli più caldi, precisamente come la luce passa attraverso del vetro senz'arrestarvisi e senza renderlo luminoso. Questa maniera di propagazione dicesi *irraggiamento* del calorico. Per irraggiamento il calorico del sole riscalda la terra; noi siam riscaldati innanzi ad un fuoco, tuttochè separati da quello, per mezzo di una massa d'aria, ed un corpo appena caldo ci fa sentire la sua presenza, anche a molta distanza. Il *calorico raggiante* diventa calorico comune, quando è essorbito da' corpi e diffuso per conducibilità in tutta la loro massa, e reciprocamente il calorico che parte da' corpi va via, a misura che si raffreddano, sotto la forma di calorico raggiante, purchè non incontri immediatamente dei corpi che lo assorbano, ed attraverso dei quali debba assolutamente passare di molecola in molecola.

125. **Calorimetria.** — La calorimetria abbraccia: 1° il calorico specifico; 2° il calorico latente; 3° la misura delle quantità di calorico che sono date e assorbite dalle varie sorgenti di caldo e di freddo.

Il *calorico specifico* di un corpo è il numero delle unità di calore necessario, perchè un chilogrammo di questo elevi di 1° la sua temperatura. L'*unità di calore* essendo convenzionale, siccome ogni altra unità della quale si fa uso per valutare in numeri le quantità, si è convenuto di prendere per unità di calore quella quantità che se ne ri-

(1) Ovvero centigrado.

chiede per elevare di 1° al di sopra di 0 la temperatura di 1 chilogrammo d' acqua, perciocchè questa quantità è sempre la stessa. Onde allorchè si dice il calorico specifico del mercurio essere $\frac{1}{30}$, ciò vuol dire che per elevare di 1 la temperatura di un chilogrammo di mercurio, ci vuole $\frac{1}{30}$ del calorico necessario per elevare di 1° la temperatura di un chilogrammo d' acqua. *Capacità per lo calorico* e *calore specifico* sono due espressioni sinonime; la prima par che indichi meglio che la quantità di calore, necessario per far nascere in un corpo una certa determinata variazione di temperatura, dipenda interamente dalla propria sostanza di questo corpo, e sia una proprietà di questa anzichè del calorico.

Il *calorico latente* di un corpo è il numero di unità di calore che questo corpo assorbe, o sviluppa nel cambiare stato. È mestieri recarne un esempio che ne faccia meglio intendere questa definizione: un chilogrammo di diaccio alla temperatura di *zero*, ed un chilogrammo d' acqua alla temperatura di 75°, danno, col loro mescuglio e dopo la intera liquefazione del diaccio, due chilogrammi d'acqua alla temperatura 0°. Onde il diaccio si è liquefatto senza cambiare di temperatura; l'acqua calda a 75° è rimasta liquida, ma si è raffreddata fino alla temperatura del diaccio. Il chilogrammo di diaccio dunque *nel liquefarsi* ha assorbito tutto il calorico che ha perduto il chilogrammo d'acqua nell'abbassare la sua temperatura da 75° fino a 0; esso l' ha assorbito per potersi liquefare, perciocchè la sua temperatura non si è punto alterata. Il calorico assorbito, e quasi simulato nella massa liquida che dalla liquefazione risulta, è il *calorico latente*, detto anche *calorico di fusione*. L'acqua congelandosi fa rinascere, svolgendo nuovamente durante la consolidazione tutto il calorico che nel liquefarsi avea assorbito; vale a dire che un chilogrammo di diaccio a 0°, ed un chilogrammo d' acqua a 0°, quantunque abbiano la stessa temperatura, non contengono la stessa quantita di calorico, avendone l' acqua più del diaccio, e quello che da essa sprigionasi, nel tempo della congelazione, sarebbe sufficiente ad elevare un altro chilogrammo d'acqua da 0° a 75°.

Lo stesso fenomeno producesi nel passare che fa un corpo dallo stato liquido a quello di vapore. Il vapore infatti nascendo ha la stessa temperatura del liquido dal quale si svolge: ma a pesi eguali esso contiene quantità di calorico di gran lunga maggiore, perciocchè esso lo assorbe nel formarsi anche più che non ne assorbe il diaccio nel liquefarsi. Questo calorico assorbito e dissimulato nella massa aerea de' vapori, anche colorico latente è chiamato, e talvolta anche *calorico di svaporamento* o *calorico di elasticità*. Nel tornar che fanno i vapori allo stato liquido, ricomparisce, sprigionandosi nell' atto della *condensazione*, tutto il calorico che nella loro formazione avevano assorbito.

Questi assorbimenti di calorico in varia proporzione nel tempo della liquefazione e dello svaporamento, e gli eguali rinascimenti di esso durante il consolidamento e la condensazione, necessariamente in tutti i corpi si appalesano. Il fenomeno del calore latente è una necessaria condizione del cambiamento di stato.

Le sorgenti di calore e di freddo emettono ed assorbono quantità di calorico che si possono, come il calorico specifico ed il calorico latente, misurare ed esprimere per mezzo di numeri; per intendere tutto questo basterà volgere lo sguardo su i fenomeni della natura, ed osservare attentamente le generali cagioni di riscaldamento e di raffreddamento. È per fermo, il calorico può essere accumulato nei corpi, ma non vi può essere tenuto rinchiuso siccome l'acqua, l'aria e gli altri fluidi ponderabili che si tengon ne' vasi. Non v' ha corpo attraverso del quale il calorico non penetri: esso è un fluido *incoercibile*, che sta sempre in moto per passare gradatamente su i corpi, o per diffondersi nello spazio per irraggiamento. Se un corpo, per esempio come una palla, si profondasse per 10 piedi sotto terra, ognun sa il calore di questa comunicarsi agli strati circostanti, poi da questi a' seguenti, e così appresso fino a grandissime distanze: dopo molto tempo la palla anzidetta sarebbe raffreddata, ma non si sarebbe perduta alcuna parte del suo calorico, perciocchè questo sarebbe sparso sopra i corpi vicini, e si potrebbe a stretto rigore rinvenirlo tutto quanto e raccolto. Diverso è il fenomeno nel caso che il corpo si raffreddi nell' aria, conciossiachè allora una parte del suo calorico si comunica alle molecole d' aria che lo toccano, ma un'altre parte è scagliata in forma di raggi, quasi in quella guisa medesima che la luce è sparsa intorno dalla fiamma, e cotesti raggi si spandono per ogni verso, alcuni s' imbattono su i corpi dai quali son rattenuti ed in parte assorbiti, altri si levan verso lo *zenit*, attraversano tutta l'atmosfera e vanno a sperdersi nei vôti spazi celesti. Ve n' ha sicuramente di quelli

che vanno a cadere sul sole e sui corpi celesti, siccome avviene anche della luce di una lucerna che giunge fino agli astri. E quel che si avvera per un corpo sospeso nell' aria è vero anche dell' intero globo terrestre librato nello spazio. La terra dunque si raffredda, perciocchè in ogni momento l' atmosfera con tutt' i corpi terrestri rivolti verso il cielo perdono calorico per irraggiamento. E però è forza che sianvi sorgenti di calore le quali riparino in ogni momento le perdite che fa la terra, e possano conservare sulla superficie di essa quella temperatura media, senza la quale nè la vegetazione delle piante, nè le funzioni della vita potrebbero aver luogo. Vedremo esservi tre sorgenti di calore atte ad equiparare il raffreddamento che la terra soffre, ed a serbare in un modo quasi permanente l'equilibrio delle temperature terrestri.

La prima è un calore primitivo il quale sta tuttavia a grandi profondità, e che a poco a poco si dissipa; questo fa che le parti centrali della terra si tengano ad una temperatura al certo più grande di quella del ferro liquefatto, ma esercita una debole azione nel conservare le temperature della superficie.

La seconda è il calore del sole del quale darem la misura nella Meteorologia: vedremo allora tutto il calore, che il sole in un anno spande sulla terra, esser sufficiente a liquefare una certa quantità di diaccio, che con alcuni mezzi semplici ed esatti siam giunti a determinare.

La terza sorgente di calore è quella che risulta dalle azioni meccaniche e chimiche che si esercitano sulla materia. Il semplice toccamento de' corpi ingenera calore; la compressione, lo stropicciamento, la percossa, e tutte le meccaniche mutazioni che possono soffrire le molecole materiali, sono del pari cagion di caldo o di freddo. Da ultimo le combinazioni chimiche, tanto quelle naturali che accompagnano la generazione e la distruzione degli esseri, quanto quelle accidentali che sono il prodotto dell' arte, sono altrettanti fenomeni dai quali può nascer caldo e freddo, e le cui leggi importa conoscere.

PARTE PRIMA

CAMBIAMENTO DI VOLUME E DI STATO DE' CORPI.

SEZIONE PRIMA

CAMBIAMENTO DI VOLUME.

CAPO PRIMO

DILATAZIONE.

126. *Fabbricazione del termometro a mercurio.* — La fabbricazione del termometro a mercurio riducesi ad un piccol numero di operazioni semplicissime: basta preparare il liquido, chiudere il termometro, e graduarlo.

I tubi da termometro è mestieri che abbiano in tutta la loro lunghezza, dalla parte interna, lo stesso diametro, affinchè eguali lunghezze corrispondano ad eguali volumi. E per rendersi certo che un tubo abbia questa condizione, si fa entrarvi una piccola quantità di mercurio che occupi una lunghezza di 1 o 2 millimetri; poi con una leggiera pressione che si può far nascere usando una vescica di gomma elastica, si fa camminare il cilindretto di mercurio da un capo all' altro del tubo tenuto sopra una scala divisa (*fig.* 185). Se in ogni giacitura esso occupi la stessa lunghezza, si può esser certissimo che il tubo sia cilindrico, e per adoperarlo alla formazione del termometro si deve soffiarvi una bolla (*fig.* 176), ovvero saldarvi un riserbatoio cilindrico. Ma se invece la goccia di mercurio abbia lunghezze diverse, allora converrà *calibrare* il tubo, cioè segnare sulla intera sua lunghezza gl' intervalli più o men grandi che corrispondono alle diverse giaciture della colonna.

Per potere introdurre il liquido si riscalda il riserbatoio, acciocchè l' aria si dilati, e poi presto si tuffa l' estremo del tubo in un bagno di mercurio. Il raffreddamento che succede fa scemare l' elasticità dell' aria interna, e la pressione dell' atmosfera fa che il liquido ascenda nel tubo; basta che alcuna goccia ne giunga nel riserbatoio (*fig.* 178). Allora rivolgendo il tubo per riscaldarlo nuovamente fino all' ebollizione del mercurio, i vapori di questo tosto empiono la capacità del tubo anzidetto, scacciandone interamente l' aria; per cui tuffando, senza la minima perdita di tempo, l' estremità del tubo nel mercurio si può quasi esser certo che si empirà interamente.

Prima di chiudere il termometro *se ne regola il corso*, cioè si fa uscire o entrare tanto mercurio, fino a che il sommo della colonna corrisponda presso a poco a quell'altezza, cui si vuol che la temperatura media corrisponda; indi l' estremo del tubo si chiude alla lucerna. Questa operazione si fa in due maniere: 1°. facendo il vôto sulla colonna del termometro; 2°. lasciandovi un poco d' aria.

Nel primo caso si comincia ad assottigliare l' estremo del tubo, e poi riscaldasi la bolla sui carboni fino a che il mercurio cominci ad uscire. In questo istante medesimo si dirige la fiamma della lucerna dello smaltatore(*fig.* 177) sull' estremo del becco assottigliato del tubo, e questo si chiuderà fondendosi il vetro: altro non si dovrà fare fuorchè ritondarlo, presentandolo nuovamente al dardo della lucerna, dopo che la colonna siasi ristretta col raffreddarsi.

Nel secondo caso il termometro essendo alla temperatura dell' *ambiente*, cioè alla temperatura dell' aria circostante, l' estremo del tubo si chiude perfettamente dirigendovi sopra il dardo della lucerna, indi mantenendo per un poco questo estremo in istato d' incandescenza e quasi di liquefazione, si fa rapidamente riscaldare il riserbatoio, sia con la mano, sia con una lucerna, e la colonna ascenderà e l'aria, essendo compressa, premerà l'estremo del tubo in fusione, formandovi un a specie di riserbatoio più o men grande, secondo che l' aria vi è spinta con maggiore o minor forza (*fig.* 179). Cotal riserbatoio è quasi

sempre necessario, quante volte nel tubo siavi rimasta dell'aria.

La *graduazione* del termometro consiste nel segnare i due *punti fissi*, e nel dividere in parti eguali l'intervallo che passa fra essi. I punti fissi, generalmente presi, sono quelli del diaccio in liquefazione e quello dell'acqua bollente. Per segnare il punto del diaccio in liquefazione, s'immerge il riserbatoio del termometro e tutta la parte del tubo occupata dal mercurio in un vase pieno di nevo pesta (*fig.* 179). La temperatura ambiente essendo al di sopra di 0, il diaccio a poco a poco si andrà liquefacendo, e tutta la massa si manterrà alla invariabile temperatura del diaccio in liquefazione. Dopo qualche tempo il termometro si ridurrà alla stessa temperatura, e rimarrà stazionario: allora si segna il punto preciso in cui si è arrestato, prima coll'inchiostro, e poi col diamante, e questo sarà lo zero o il principio della nostra *scala termometrica*.

Per segnare poi il punto dell'acqua bollente, si prende un vase a lungo collo (*fig.* 180), nel quale si fa bollire dell'acqua distillata; dopo qualche momento di ebollizione il vapore ne avrà riscaldato egualmente tutte le parti ed uscirà per le aperture laterali; allora il termometro sarà circondato per ogni parte da un'atmosfera di vapori, la cui temperatura è per tutto la stessa ed eguale a quella del primo strato di acqua bollente. La colonna giungerà tosto ad un punto fisso, che non può oltrepassare, questo è il punto dell'acqua bollente, il quale si segna subito con l'inchiostro e poscia col diamante. Se nel tempo dell'esperienza l'altezza del barometro non è molto vicina ai 76^{mm}, sarebbe mestieri fare una correzione il cui valore farem conoscere quando dell'ebollizione farem parola.

La forma del vase influisce grandemente sulla esattezza delle graduazione; da gran tempo ho io adottata la disposizione seguente (*fig.* 180, 181, 182).

In un vase circolare d'ottone munito di due manubrii di legno *b* e *b'* è adattato un altro vase della stessa forma, ma più piccolo; questo si chiude con coverchio à risalto, sormontato da ampio cannello ellittico *a a'* esso pure d'ottone, e foderato di panno, del quale si vede la projezione nella fig. 182. Dopo d'aver messa alquanta acqua distillata nel fondo del vase (*fig.* 181) e adagiato il coverchio, si riempie di sabbia il gran vaso d'ottone, e ponesi tutto l'apparecchio sopra un fornello per produrre una rapida ebollizione. La parte superiore del tubo ellittico è disposta a ricevere almeno due termometri, per fare delle graduazioni simultanee, e paragonare così dei termometri graduati ad epoche differenti.

L'intervallo fra i due punti di ghiaccio in liquefazione, e dell'acqua bollente è diviso in 100 gradi o parti di eguale capacità: le divisioni son continuate al di sotto ed al di sopra di questi punti, e tutti insieme formano la *scala termometrica*.

Quando il cannello si è trovato perfettamente cilindrico, basterà di adattarlo sopra una macchina per dividere, di numerare quanti rivolgimenti ha dovuto fare la vite per correre tutto l'intervallo tra il punto del ghiaccio in fusione e dell'acqua bollente, di prenderne la centesima parte, la quale rappresenta in questo il numero di giri o frazioni di giro, che il diamante deve fare affinchè segni successivamente 1°, 2°, ec.

Quando il cannello non si è trovato cilindrico, esso è stato calibrato, cioè diviso per esempio in 20 parti di eguale capacità, ciascuna delle quali puossi avere come cilindrica. Si vede da prima quante di queste parti sono comprese tra i due punti dello zero e dell'acqua bollente, siano per esempio 15, 75: ciascun grado dunque corrisponde a 0,1575; si sa da altra banda che la prima, quella in cui trovasi lo zero, corrisponde ad *n* giri della macchina; la seconda ad *n'* giri, ec. per cui partendo da zero converrà fare un numero di giri 0,1575*n* per arrivare ad 1°, poi uscendo da questa capacità per passare alla seconda, converrà per ogni grado o frazione di grado, fare un numero di giri corrispondente a 0,155*n'* per 1°, ec.

Tutti i termometri a mercurio, fabbricati secondo questi principi, sono istrumenti *comparabili*, cioè camminano in corrispondenza ed indicano nello stesso tempo lo stesso numero di gradi. E per fermo prendendo due volumi di uno stesso corpo alla temperatura 0, e portandoli ad un'altra temperatura, se uno di questi si dilaterà per una millesima parte del suo volume a 0, l'altro si dilaterà del pari della millesima parte del suo volume, e però due termometri a mercurio dovranno nello stesso tempo segnare 1°, 2°, 3°, ec.; perciocchè essi debbono aumentare nello stesso tempo il loro volume di un centesimo, 2 centesimi, 3 centesimi, ec. di quello che son capaci di prendere passando da 0 a 100°.

Questo raziocinio intanto è vero supponendo il mercurio contenuto in vasi o recipienti solidi della stessa natura: ma ne'termometri non si osserva la *dilatazione assoluta* del mercurio, ma invece la sua *dilatazione*

apparente, cioè la differenza tra l'aumento di volume del mercurio è quello di capacità del recipiente che lo contiene. Se il vetro si dilatasse quanto il mercurio, il termómetro si terrebbe immobile ad ogni temperatura; e se il recipiente più del mercurio si dilatasse, crescendo il caldo, il termometro invece di ascendere, discenderebbe. Affinchè dunque i termometri siano rigorosamente comparabili, è forza che i recipienti sian dilatabili egualmente.

Si posson fabbricare de' termometri a mercurio i quali si estendono fino a 350 gradi, ma non si può andare oltre, perchè a questa temperatura il mercurio sta per bollire. Al di sotto dello 0 il termometro dà esatte indicazioni fino a —30° o —35°: allora il mercurio si avvicina al suo punto di congelazione, il quale si ha verso i —40°, e tutt'i corpi quando sono per cambiare stato soffrono delle improvvise mutazioni.

Per le ricerche, ed anche per le osservazioni alle quali si voglia dare qualche esattezza, conviene usare termometri i quali non percorran più di 15 o 20 gradi: l'uno segnando per esempio le temperature da $+10$ a -5, un altro da -5 a -20, un altro da $+10$ a $+25$, ec.: in questo caso i riserbatoi conterranno piccola quantità di mercurio, ed i tubi avranno un picciolissimo diametro, ed ogni grado occuperà molta lunghezza. Questi termometri hanno il doppio vantaggio di perder tosto la temperatura e d'indicarla con molta precisione. Per graduarli convien che si abbia un *termometro-modello*, cioè un termometro graduato mercè i punti del ghiaccio in liquefazione e dell'acqua bollente, dell'esattezza del quale si possa esser sicuro. (Pel termometro a massimo ed a minimo vedi la Meteorologia).

Generalmente si osserva che col tempo il zero del termometro cambia sito, come se il riserbatoio diventasse più piccolo; ma il signor Despretz ha fatta un' altra osservazione non meno importante, ed è che siffatto spostamento è anche determinato da improvvise variazioni di temperatura. Così in un termometro abbandonato a se stesso, lo zero si eleva a mano a mano durante tre o quattro anni, e la sua totale elevazione può oltrepossare un mezzo grado; ma in un termometro adoperato a misurare temperature molto diverse, le variazioni dello zero possono essere più grandi e mostrarsi in poche ore, ora per un verso ed ora per un altro, secondo che il termometro siasi esposto al caldo o al freddo.

Il termometro di Reaumur del quale si fa uso ancora in Francia, ed il termometro di Fahrenheit che è il solo adoperato in Inghilterra, son divisi in una maniera diversa dal termometro centigrado.

Il term. di Reaumur segna a 0 il ghiaccio in liquefazione, ad 80° l'acqua bollente.

Il term. di Fahrenheit segna a 32 il ghiaccio in liquefazione, e a 212 l'acqua bollente.

Laonde moltiplicando i gradi del termometro di Reaumur per $\frac{5}{4}$ si trasformano in gradi del termometro centigrado, ed al contrario moltiplicando i gradi del termometro centigrado per $\frac{4}{5}$ si avranno quelli di Reaumur; in simil guisa avendo una temperatura in gradi di Fahrenheit, basterà toglierne 32 e moltiplicare il resto per $\frac{5}{9}$ per averla espressa in gradi del termometro centigrado (1).

(1) Il termometro si crede inventato forse contemporaneamente dal Galilei e dall'olaodese Drebellio (*Gerbi, Corso di Fisica*, T. 3), o dal Santorio secondo altri, ma v'è chi crede che prima di costoro l'avesse ideato Sebastiano Bartoli di Montella, siccome apparisce da una sua opera pubblicata nel 1679 intitolata *Thermologia Aragonia sive Historia naturalis Thermarum in occidentali Campaniae ora inter Pausilypum et Misenum fluentium*, nella quale espressamente dice: *Opportunum demum hic erit promissa saepe de thermometro verba facere, qua de descriptorum balneorum exactissime caloris gradibus emensis inter se quantum ipsa differat, quantumque vel viventium calor eorum superat calorem, vel viventium ab calore ipsorum superetur calor, certa regula examinari possit; ad quod huiusmodi excogitavi vitreum instrumentum, quod facto periculo ad usum accomodatissimum fuit.* Indi segue la descrizione del termometro ad aria, che fu il primo ad essere adoperato. Gli accademici del Cimento poi fecero i temometri a spirito di vino colorito, con una scala di 50 gradi senza punti fissi: poscia il Rinaldini e quindi il Newton rendettero il termometro strumento comparabile, mercè i punti invariabili del ghiaccio in liquefazione e dell'acqua bollente, e quest'ultimo adoperò l'olio di lino. Il Fahrenheit il primo adoperò il mercurio e stabilì per principio della scala il punto in cui si abbassò quel liquido in un freddo che si sentì a Danzica nel 1709, corrispondente a quello che si genera spargendo sulla neve il muriato o l'idroclorato di ammoniaca, e divise l'intervallo tra questo punto e quello dell'acqua bollente in 212 parti. Il Reamur divise la scala in 80 parti usando di una certa specie di alcool diluito, il quale avendo al gelo un volume come 1000 l'avea come 1080 ridotto all'ebollizione. Per la qual cosa il vero termometro di Reamur non avea il n° 80 all'ebollizione dell'acqua siccome i termometri che oggi diconsi di Reamur. De Luc sostituì a questo spirito il mercurio nel termometro di Reamur. Celso poi fu l'Autore del termometro centigrado.

127. *Formole di dilatazione.* La *dilatazione lineare* di un corpo è la ragion che passa tra il suo allungamento e la sua lunghezza a zero, quando la sua temperatura passa da 0 fino ad 1°. Onde chiamando l la lunghezza di una verga metallica alla temperatura 0, b l' allungamento che riceve passando alla temperatura di 1°, ed n la sua dilatazione lineare, si avrà la relazione

$$n = \frac{b}{l},\ \text{ovvero}\ nl = b.$$

Il valore numerico di n per ciascun corpo dicesi il suo *coefficiente di dilatazione*.

Per la maggior parte de' corpi l' esperienza fa conoscere, come tra poco vedremo, tra 0 e 100 esser la dilatazione uniforme, vale a dire fra questi limiti l' allungamento esser proporzionale alla elevazione di temperatura: onde chiamando l' la lunghezza della verga alla temperatora t, si avrà

$$l'=l+tb,\ \text{ovvero}\ l'=l+ntl,\ \text{ossia}\ l'=l(1+nt).$$

Questa è la ragione che regna tra la dilatazione lineare, la lunghezza a 0, la lunghezza alla temperatura t, e questa stessa temperatura; laonde date tre di queste quantità si potrà facilmente conoscere la quarta.

Esprimendo con l'' la lunghezza corrispondente alla temperatura t', si avrebbe in simil guisa

$$l''=l\,(1+nt');$$

donde ricavasi

$$l''=l\left(\frac{1+nt'}{1+nt}\right)$$

ovvero approssimativamente

$$l''=l'[1+n(t'-t)],$$

trascurando il quadrato di n il quale sarà sempre picciolissimo per rispetto ad n, perciocchè la dilatazione lineare è generalmente una frazione molto piccola (2).

Quest' ultima formola serve a trovare la lunghezza ad una temperatura qualunque, sapendosi la lunghezza per un' altra temperatura e la dilatazione lineare; ma essa può anche dare la temperatura o il coefficiente di dilatazione quando tutte le altre quantita siano conosciute; si hanno in effetti i giusti valori di t' ed n così espressi,

$$t'=\frac{l''-l'-l''nt}{nl'};\ n=\frac{l''-l'}{l't'-l''t},$$

ovvero approssimativamente

$$t'=t+\frac{l''-l'}{nl'};\ n=\frac{l''-l'}{l'\,(t'-t)}.$$

Quando la dilatazione finisce di essere uniforme, la dilatazione lineare finisce di essere costante, essa si rende variabile con la temperatura, ed allora si cerca la *dilatazione lineare media*, ovvero il coefficiente medio di dilatazione, per la temperatura che si considera. Cotesto coefficiente è la ragione tra il totale allungamento e la lunghezza a zero divisa per l' intervallo di temperatura. Così da 0 a 300° essendo la dilatazione totale del vetro di $\frac{1}{329}$, il coefficiente medio di dilatazione per 300° sarà di

$$\frac{1}{329\times 300},\ \text{ovvero}\ \frac{1}{98700}.$$

La *dilatazione cubica* di un corpo è la ragion che passa tra l' aumento di volume che riceve passando da 0 ad 1°, ed il volume che avea a 0. Onde dicendo v il volume di un corpo alla temperatura 0, a l'aumento che riceve

(2) Quantunque le formole di sopra recate sian chiarissime, pure per comodo de' giovani poco versati nelle operazioni dell' algebra vo dichiarando alcune cose. Essendo $l'=l+tb$, e $b=nl$, sostituendo nella prima equazione il valore di b, si ha $l'=l+nlt$; ed essendo l un fattore comune al secondo membro, si ha finalmente

$$l'=l\,(1+nt),$$

dalla quale equazione ricavando l si avrà

$$l=\frac{l'}{1+nt},$$

e sostituendo questo valore di l in quello di l'' si otterrà

$$l''=\frac{l'}{1+nt}\,(1+nt')=\frac{l'\,(1+nt')}{1+nt}:$$

ora dividendo $1+nt'$ per $1+nt$, continuando la divisione fino al terzo termine del quoziente, e moltiplicando questo per l', ne nascerà

$$l''=l'\,(1+nt'-nt)=l'\,[1+n\,(t'-t)].$$

Non si è continuata innanzi la divisione, perchè nel quarto termine del quoziente si sarebbe avuto il quadrato di n che è picciolissimo: infatti essendo $n=\frac{b}{l}$, figuriamoci che la lunghezza della verga fosse stata di 100 millimetri e per un grado di temperatura si fosse allungata di 1 millimetro, si avrebbe $n=\frac{1}{100}$, e quindi il quadrato di n eguale ad $\frac{1}{10000}$. Queste cose sembreranno inutili a coloro tra i giovani che abbiano una mezzana perspicacia, ma l' esperienza dell' insegnamento non me le fa credere tali per tutti.

nel passare da 0 ad 1°, ed m la dilatazione cubica, si ha la relazione

$$m=\frac{a}{v}\text{, ovvero } a=mv.$$

Supponendo la dilatazione uniforme, ed esprimendo per v' e v'' i volumi corrispondenti alle temperature t e t', si avranno pe' volumi e per la dilatazione le due seguenti relazioni

$$v'=v\,(1+mt),\text{ e } v''=v'\,[1+m\,(t'-t)],$$

relazioni analoghe a quelle che abbiam trovate per le lunghezze e per le dilatazioni lineari.

Le dilatazioni cubiche medie si determinano nella stessa guisa delle lineari.

In oltre è facile il vedere che in ogni corpo la dilatazione cubica è tripla della lineare. Ed in fatti i corpi dilatansi egualmente in tutte le dimensioni, onde dicendo l la lunghezza dello spigolo di un cubo preso alla temperatura 0, ed esprimendo con n la dilatazione lineare di sua sostanza, ogni spigolo alla temperatura di un grado diverrà $l\,(1+n)$, ed il volume del cubo dilatato sarà

$$l^3\,(1+n)^3,\text{ ovvero } l^3\,(1+3n+3n^2+n^3)$$
$$\text{ossia } l^3\,(1+3n),$$

potendosi trascurare i termini ove n trovasi elevato a quadrato o a cubo; l'accrescimento di volume dunque sarà $3l^3n$; e l'accrescimento di un volume diviso per lo volume a 0, ossia la dilatazione cubica m, sara

$$m=\frac{3l^3n}{l^3}=3n.$$

Basterà dunque cercare una di queste quantità per aver l'altra.

128. *Dilatazione de' corpi solidi.— Apparecchio di Lavoisier e Laplace.* — Le verghe sperimentate eran lunghe due metri, e sospese orizzontalmente in una caldaja a (*fig.* 202), adagiata sopra un fornello. Quattro massi di pietra b, di grandi dimensioni, collocati sopra solida fabbrica, servivano per dare punti d'appoggio perfettamenta fissi; erano essi riuniti, a due a due, mercè traverse di ferro c e c', d' ed e; a ciascuna delle prime due erano attaccate delle strisce di cristallo, che terminavano inferiormente in cilindro di vetro, sui quali la sbarra era adagiata; contra le traverse d ed e era fissata, in coltello, un' altra striscia di cristallo fortissima, sul taglio della quale appoggiavasi l'estremo fisso della verga; mentre l'estremità libera agiva sulla leva mobile f, che, per tal modo, girar faceva la traversa d', e conseguentemente la leva g ed il cannocchiale h. Trovandosi il bagno della caldaja e la riga a 0°, e stabiliti bene i contatti, si guardava col cannocchiale una mira verticale, situata a 200 metri di distanza, e diligentemente graduata; una volta segnato questo punto di partenza, producevasi un riscaldamento sino a 100°, per esempio: allora la verga, sottomessa all' esperienza, più o meno allungavasi, secondo la sua natura, le leve f e g ed il cannocchiale h mettevansi in moto, e si arrestavano allora quando l'effetto della dilatazione, per quella temperatura, erasi compito. Conoscendo quindi le ragioni de' bracci di leva f e g, egualmente che le ragioni delle distanze ik ed im, era agevole il calcolare l'allungamento della verga, mercè lo spazio cognito percorso sulla mira.

L' apparecchio di Ramsden, venuto dopo del precedente (*Trans. Filos.*, 1785) ha principalmente per iscopo l' evitare ogni maniera di contatti, poichè, generalmente, la maggior parte degli strumenti di questo genere peccano appunto d' imperfezione ne' contatti. Esso è, quale si vede nella fig. 193, composto di tre truogoli paralleli a,b,c, ed in quello b di mezzo trovasi la verga, sommessa all' esperienza, la quale ha inoltre in ciascuna delle sue estremità delle appendici, sporgenti verticalmente al di fuori del liquido, e ordinate a tenere ciascuna un obbiettiva di microscopio. I due truogoli a e b son mantenuti alla temperatura del diaccio in fusione, in tutte le sperienze; in essi trovansi pure delle verghe simili alla precedente, ma che rimangon sempre le stesse in tutti i saggi; le appendici di quella che sta nel truogolo c son munite di fili incrocicchiati, e quelle dell' altra verga che trovasi nel truogolo a son munite di oculari; in guisa che, dopo aver ben disposto l' apparecchio, e quando il tutto trovasi alla temperatura 0°, si hanno due microscopii, ciascuno de' quali poggia sopra l' una delle estremità delle tre verghe; l' oculare sulla prima, l'obbiettiva sulla seconda, e i fili incrociati, formanti il fuoco, sulla terza. Riscaldando a 100° la verga che si sperimenta, le due oculari, saranno, in generale, spostate; ma una di esse vien rimessa nella sua posizione primitiva, di maniera che tutto l' effetto della dilatazione si fa cadere sulla seconda. Ponghiamo che questa sia quella che trovasi a dritta: allora l' immagine corrispondente de' fili si trova spostata lateralmente nell' oculare, e si valuta cotesto spostamento, mercè una vite micrometrica, donde se ne conchiude quello dell' oculare, e con ciò la dilatazione della verga di mezzo.

Cotesto apparecchio è ingegnoso; ma, vista

la diseguale temperatura dello appendici delle verghe, che trovansi parte nel bagno e parte al di fuori, pare impossibile che gli assi delle oculari e delle obbiettive, non debban soffrire alcun che di deviazione, il quale offende i risultamenti.

Lo strumento qui appresso descritto (*fig.* 186) fatto da me costruire, sono ormai più anni, per ricerche dello stesso genere, e per servire ancora da *comparatore* delle misure lineari, permette di conseguire un'esattezza assai maggiore.

f' è una lamina metallica armata di tre punte ottuse di acciaio sulle quali tutto lo strumento si appoggia; questa lamina poi è anche essa sostenuta da una specie di banco di legno molto solido.

f è la riga di ferro in forma di *t*; essa è fatta a prisma quadrangolare avente 45 millimetri di lato e 12 decimetri di lunghezza; ha poi tre profondi solchi angolari pe' quali si appoggia sulle punte della lamina metallica; in tal guisa non può essere curvata o storta dalla dilatazione.

ab è l'alidada: essa è di ottone e porta un forte rilievo che le impedisce di curvarsi.

x ed *x'* son due pezzi (*galets*) uniti all'estremo *b* dell'alidada, i quali si appoggiano sulla riga di ferro; in tal modo l'alidada è perfettamente libera nel dilatarsi e nel muoversi.

vv' è la divisione dell'alidada; essa è segnata sull'argento a tratti sottili, l'uno dall'altro distanti per mezzo millimetro circa.

y è il cannocchiale micrometrico sostenuto da un piede messo a vite sull'estremo della riga di ferro.

z è il capo di una vite micrometrica che fa muovere i fili incrociati del cannocchiale *y*: essa è divisa in 100 parti di due millimetri l'una, e ci vogliono 330 divisioni per ispostare il filo di $\frac{1}{3}$ millimetro; si vede perciò che senza computare le frazioni si può tener conto di $\frac{1}{660}$ di millimetro sull'estremo *b*, il che corrisponde ad $\frac{1}{1980}$ di millimetro al punto di vista del cannocchiale *y*.

r è una vite di richiamo che serve a dare all'alidada il moto conveniente.

Per adoperare quest'apparecchio nella misura delle dilazioni al di sotto di 300°, si pone innanzi al cannocchiale una caldaja di rame, (*fig.* 185) poggiata sul suo fornello, e contenente il bagno e la riga da sperimentarsi *mn*; questa è adagiata sopra un sostegno di ferro posato su gli orli della caldaja, ove la sua posizione vien regolata da alcuni sistemi di viti *k*; gli estremi della riga, o anche meglio i segni incisi sulla stessa nelle vicinanze di sue estremità, si presentano di rincontro a due aperture laterali, corrispondenti ai cannocchiali, e chiuse con vetri paralleli, che son semplicemente premuti verso le pareti della caldaja. A ciascuna osservazione, si riconduce il segno dell'estremo *n* della riga sotto il filo del cannocchiale fisso *h*, mercè la vite *k* del sostegno, mentre si seguono col cannocchiale mobile *g* i movimenti dell'estremo *m*, facendo muovere la vite di richiamo *r* dell'alidada.

In questo modo, col cannocchiale micrometrico *y* si determina il numero di divisioni percorse, passando dalla temperatura del punto di partenza a quello dell'osservazione, e questo numero dà direttamente la dilatazione della verga sottomessa alla pruova; essendosi avuta la cura di determinare a qual frazione di millimetro corrisponda l'una delle divisioni dell'alidada; il che si è ottenuto ponendo, in una sperienza preparatoria, un micrometro diviso in millimetri, innanzi al cannocchiale mobile *g*.

Per osservare le dilatazioni nelle alte temperature, si dispongono le verghe sopra un altro sostegno di ferro in un fornello di mattoni dove si fa passare l'aria calda o anche la fiamma. Questo fornello tiene di rincontro a' cannocchiali due piccole aperture le quali si aprono nel momento dell'esperienza, e se la temperatura è al di sotto dell'incandescenza s'illuminano artificialmente i punti su i quali guardano i cannocchiali.

S'intende poi quanto sia facile il garantire, durante l'esperienze, lo strumenta dalle variazioni di temperatura le quali farebbero variare la distanza del cannocchiale fisso dal centro di rotazione dell'altro mobile.

Dulong e Petit, per determinare la dilatazione dei solidi, hanno fatto uso di un altro mezzo, il quale dipende dalla dilatazione assoluta del mercurio della quale fra poco discorreremo; avendo essi in tal modo conosciuta la dilatazione del vetro e del ferro, si sono giovati, per determinare la dilatazione degli altri corpi, del pirometro ideato da Borda allorchè trattavasi della misura del meridiano (1). Questo pirometro è dinotato dalla

(1) Trattavasi di trovare un mezzo per conoscere in ogni momento la vera temperatura di una tesa metallica ordinata a misurare le *basi* della grande triangolazione fatta da' Francesi per conoscere la misura del meridiano terrestre e quindi quella del metro.

figura 187 *bis*; esso è composto di due righe di metallo, poste l' una sull' altra in tutta la loro lunghezza, e riunite in una maniera invariabile solo da una parte; ciascuna riga poi dall'altro estremo porta un' asta di ottone che prima si eleva perpendicolarmente e quindi orizzontalmente si piega. Le braccia orizzontali di questi due pezzi aggiunti possono strisciare l' uno sull' altro, quando le due righe inegualmente si allungano, e sulla linea ove si uniscono: ognuna di queste è divisa in picciolissime parti uguali, ma in modo da formare un *nonio* o *verniero*, vale a dire che 20 divisioni dell' una sono per esempio eguali a 19 dell' altra; supponendo che questa indichi le quinte parti di millimetro, per la coincidenza delle divisioni si potranno conoscere i ventesimi di queste quinte parti, ovvero i centesimi di millimetri. Questa coincidenza si osserva con la lente d' ingrandimento come nel nonii comuni (1). Le righe de' signori Dulong e Petit avean 12 decimetri di lunghezza, 25 millimetri di larghezza, e 4 millimetri di grossezza. Un grado di differenza di temperatura produceva uno spostamento quasi eguale ad una parte del nonio. Il pirometro per esempio era portato dalla temperatura 0 a quella di 100°, le due righe inegualmente si allungavano; il pezzo addizionale della più dilatabile strisciava sul pezzo addizionale dell'altra, per esempio, per 100 parti del nonio le quali formavano l' assoluta lunghezza di 1 millimetro. In tal guisa conoscendo la differenza delle dilatazioni lineari delle due righe, conoscendo di più la dilatazione lineare di una di esse e la sua primitiva lunghezza, agevole riusciva il determinare la dilatazione lineare dell' altra.

Conosciute le dilatazioni lineari de' corpi solidi, basterà prenderne il triplo per avere le dilatazioni cubiche.

Le dilatazioni de' vasi di varie forme si determinano partendo dal principio, che l' aumento di capacità, che un vase riceve dal calorico è uguale all'aumento che prenderebbe un corpo solido della stessa materia, che esattamente riempisse il vase medesimo; così se la capacità di un vase di vetro fosse per esempio di 150 centimetri cubici trovandosi a 0, essa a 100° sarebbe $150\ (1+100a)$, esprimendo con a la dilatazione cubica del vetro la quale è di 0,00002584.

I corpi omogenei uniformemente si dilatano in tutti i sensi; ma, al contrario, quei corpi la cui struttura non è identica secondo tutte le direzioni, si dilatano irregolarissimamente secondo le loro dimensioni; cotesto fatto è stato, da parecchio tempo rifermato dal Mitscherlich in ordine a taluni cristalli. Prendendo, per esempio, una grossa lamina della varietà della calce solfata, conosciuta sotto il nome di *ferro di lancia*, le cui estremità *ab* e *cd* (*fig.* 204) sien tagliate in modo da risultarne due superficie piane, parallele tra loro e perpendicolari alla unione emitropica *mm'*, si osserva che alla temperatura alla quale è stato il cristallo lavorato, queste due superficie restano perfettamente piane; ma riscaldando la lamina a 50°, 60° o anche 80°, l'ineguale dilatazione fa sì che ciascuna di qoelle superficie diventi una *superficie spezzata*, la prima in *m'* la seconda in *m*; i due piani *am'* e *bm'* formano un angolo rientrante, e i due *cm* e *bm* un angolo saliente; imperciocchè, guardando per riflessione, e molto obbliquamente un obbietto dilicato e assai lontano su l' una e l'altra estremità della lamina, si veggono due immagini; il che prova essersi il cristallo difformato per la ineguale dilatazione.

Cotesto principio può essere generalizzato incollando artifizialmente due cristalli simili, ma sopra facce diversamente inclinate all'asse, e lavorandoli quindi in modo da farne una superficie piana, la quale sarà più o meno dal calorico difformata.

La seguente tavola contiene i principali risultamenti delle esperienze che sonosi fatte sul proposito fino alla temperatura di 300°.

(1) Non m' intrattengo a dare la descrizione del nonio, perchè oltre ad esser comunemente noto, si trova descritto in molte opere elementari.

TAVOLA DELLE DILATAZIONI LINEARI

INDICAZIONE delle SOSTANZE	INTERVALLO di temperatura	DILATAZIONI IN FRAZIONI Decimali	Volgari
Secondo i Signori Lavoisier e Laplace.			
Flint-glas inglese	0 a 100°	0,00081166	1/1248
Platino (secondo Borda)	» »	0.00085655	1/1167
Vetro di Francia con piombo	» »	0,00087199	1/1147
Tubo di vetro senza piombo	» »	0.00087572	1/1142
Idem	» »	0,00089694	1/1115
Idem	» »	0,00089760	1/1114
Idem	» »	0.00091750	1/1090
Vetro di San Gobain	» »	0,00089089	1/1112
Acciaio non temperato	» »	0,00107880	1/927
Idem	» »	0,00107915	1/927
Idem	» »	0,00107960	1/926
Acciaio temperato giallo, ricotto a 65°	» »	0,00123956	1/807
Ferro dolce lavorato	» »	0,00122045	1/819
Ferro tondo passato per filiera	» »	0,00123504	1/812
Oro puro	» »	0.00146606	1/682
Oro al titolo di Parigi, ricotto	» »	0,00151361	1/661
Idem non ricotto.	» »	0,00155155	1/645
Rame	» »	0,00171220	1/584
Idem	» »	0.00171733	1/582
Idem	» »	0,00172240	1/581
Rame giallo o ottone	» »	0,00186670	1/535
Idem	» »	0,00187821	1/533
Idem	» »	0,00188970	1/529
Argento al titolo di Parigi.	» »	0,00190868	1/524
Argento di coppella.	» »	0.00190974	1/524
Stagno delle Indie ovvero di Malacca	» »	0.00193765	1/516
Stagno di Falmouth	» »	0,00217298	1/492
Piombo	» »	0,00284836	1/351
Secondo Smeaton.			
Vetro bianco (tubi di barom.)	1 a 100°	0,00083333	1/1175
Regola marziale di antimonio	» »	0,00108333	1/923
Acciaio *poule*.	» »	1,00115000	1/870
Acciaio temperato	» »	0,00122500	1/816
Ferro	» »	0.00125833	1/795
Bismuto	» »	0,00139167	1/719
Rame rosso battuto.	» »	0,00170000	1/588
Rame rosso 8 par. ed 1 di stagno	» »	0,00181667	1/550
Rame giallo fuso	» »	0,00187500	1/533
Rame giallo p. 16 e 1 di stagno.	» »	0,00190833	1/524
Filo di ottone.	0 a 000°	0,00193333	1/517
Metalli di specchi da teloscopio	» »	0,00193333	1/517
Saldatura, rame 2 par. ziac. 1	» »	0,00205833	1/486
Stagno fino	» »	0,00228333	1/438
Stagno in granelli	» »	0,00248333	1/403
Saldatura bianca, stagno 1 parte piombo 2.	» »	0,00250533	1/399
Zinco 8 parti, stagno 1 lavorato un poco alla fucina	1 »	0,00269167	1/372

INDICAZIONE delle SOSTANZE	INTERVALLO di temperatura	DILATAZIONI IN FRAZIONI Decimali	Volgari
Piombo.	» »	0,00286667	1/349
Zinco	» »	0,00294167	1/340
Zinco allungato col martello di $\frac{1}{2}$	» »	0,00310833	1/322
Secondo il maggior generale Roy.			
Vetro in tubo.	1 a 103°	0,00077550	1/1289
Vetro in verghe solide	» »	0,00080833	1/1237
Ferro fuso (prisma di)	» »	0,00111000	1/901
Acciaio (verga d')	» »	0,00114450	1/874
Rame giallo di Hambourg.	» »	0,00185550	1/539
Rame giallo ingl. in forma di verghe	» »	0,00189296	1/528
Rame giallo ingl. in forma d'angolo o di canale rettangolare	» »	0,00189450	1/528
Secondo il Signor Troughton.			
Platino.	1 a 100°	0,00099180	1/1008
Acciaio.	» »	0,00118990	1/840
Ferro passato per filiera	» »	0,00144010	1/694
Rame	» »	0,00191880	1/521
Argento	» »	0,00228260	1/480
Secondo il Signor Wollaston.			
Palladio	0 a 100°	0,00100000	1/1000
Secondo i Signori Dulong e Petit.			
Platino	0 a 100°	0,00088420	1/1131
	0 a 300	0,00275482	1/3631
Vetro	0 a 100	0,00086133	1/1161
	0 a 200	0,00184502	1/454
Ferro	0 a 300	0,00303252	1/329
	0 a 100	0,00118210	1/846
	0 a 300	0,00440528	1/227
Rame	0 a 100	0,00171820	1/582
	0 a 300	0,00564972	1/177

La dilatazione de' corpi solidi sembra generalmente molto uniforme tra 0 e 100°; ma per le più alte temperature, valutate sopra i termometri a mercurio o ad aria, diviene irregolare, facendosi sempre maggiore.

La rapidità di siffatto accrescimento è renduta più sensibile determinando le temperature che sarebbero indicate da' varî corpi se con essi venissero fatti de' termometri graduati tra 0 e 100° come il termometro a mercurio. La dilatazione del platino per esempio essendo ogni grado di 0,0000088420, converrebbe portare una verga di platino da 0 ad $x°$ perchè il suo allontanamento totale fosse di 0,0025482; ed x si determina con l'equazione

$$0,0000088440x=0,00275482$$
$$x=311,57.$$

Con un computo simile si trova che il termometro ad aria indicando 300, i termometri di vetro, di ferro, di rame indicherebbero vetro...352°,9; ferro...372°,9; rame...328°,8. Siccome nel corso delle sperienze si ha continuamente bisogno di tener conto della dilatazione del vetro e del cristallo, così ho riunito nella seguente tabella i risultamenti cui sono pervenuti parecchi osservatori e specialmente il Regnault il quale ha molto variato le sperienze ed ha usato ogni diligenza nel precisare i varj pezzi de' quali ha fatto uso.

Questi numeri sonosi avuti con un metodo di cui si terrà discorso (130) e che dipende dalla conoscenza della dilatazione assoluta del mercurio.

TAVOLA DELLE DILATAZIONI CUBICHE DEL VETRO DA 0 A 100°.

Dulong e Petit	0,002 583
Despretz	0,002 580
Rudberg	0,002 286
Magnus	0,002 547
Regnault. Vetro bianco in tubi	0,002 648
—— *Id.* — D° soffiato in bolle di 46mm di diam.	0,002 592
—— *Id.* — Vetro verde in tubi	0,002 299
—— *Id.* — D° soffiato in bolle di 36mm di diam.	0,002 132
—— *Id.* — Vetro di Svezia in tubi.	0,002 363
—— *Id.* — D° soffiato di bolle di 34mm di diam.	0,002 441
—— *Id.* — D° di 32mm di diam.	0,002 411
—— *Id.* — D° infusibile francese in tubi	0,002 142
—— *Id.* — D° soffiato in bolle di 32mm di diam.	0,002 242
—— *Id.* — Cristallo comune di tubi	0,002 101
—— *Id.* — D° soffiato in bolle di 39mm di diam.	0,002 330
—— *Id.* — Globo *A* delle sperienze	0,002 304
—— *Id.* — Globo *C* delle sperienze.	0,002 349

128 *bis*. *Applicazione della dilatazione dei solidi.* — *La forza di dilatazione* di un corpo è eguale alla *resistenza di compressione* della quale è capace. Se per comprimere una verga di ferro quanto si restringerebbe abbassandosi per 1° di temperatura ci voglia un peso di mille chilogrammi, egli è chiaro che caricandola dalla parte di sopra di questo peso, e scaldandola di 1°, la dilatazione dovuta al riscaldamento compenserà la compressione generata dal carico, e la sua lunghezza resterà la stessa. Posto un tale principio, si potrà giudicare quanto sia grande lo sforzo che operano i corpi dilatandosi o restringendosi. I liquidi essendo poco compressibili e molto dilatabili, possono tra tutt' i corpi maggiori effetti di tal natura produrre. Il ferro ed il bronzo fra i corpi solidi hanno anche maggior forza di dilatazione: ecco perchè nelle grandi opere, ove è forza unire l' una presso l' altra molte verghe di ferro per una lunghezza di più centinaia di metri, si dispongono di passo in passo in guisa che l' estremo di una possa connettersi con quello dell' altra senza premerla. Più difficile riesce l' acconciare i condotti, ma vi si giunge adoperando delle lamine di piombo, con le quali si avvolge l' estremo del tubo che si deve connettere con l' estremo più largo di quello che segue.

La *forza di restringimento* de' solidi è eguale alla resistenza che possono opporre allo stiramento. Se ci vuole un peso di mille chilogrammi per far che una verga di ferro verticale si allunghi tanto, per quanto si allungherebbe per l' aumento di un grado di temperatura, egli è chiaro che se vien caricata di tal peso verso il suo estremo inferiore, e che in pari tempo si raffreddi di 1°, la contrazione generata dal freddo compenserà l'allungamento prodotto dallo stirare, e la lunghezza della verga resterà la stessa come se non fosse stata raffreddata di un grado nè da mille chilogrammi stirata. Essendo grandissima la tenacità del ferro, si può far tesoro di questa proprietà per produrre sforzi forse superiori a' nostri mezzi meccanici. È mestieri tener conto di questa doppia proprietà, allorchè si adoperano materiali che debbono andar soggetti a grandi variazioni di temperatura. Così non è da dubitare che non si curvi una verga di ferro, allorchè essendo riscaldata i suoi estremi incontrino degli ostacoli, che la forza di dilatazione non può superare; nè è da dubitare che non si rompa per raffreddamento, se i suoi estremi sien fermati a due punti che la forza di contrazione non può avvicinare. Onde avviene che nelle operazioni di getto molti pezzi si rompono nel raffreddarsi, allorchè le loro forme e le loro proporzioni non sono state combinate in modo, che il *restringimento* potesse liberamente eseguirsi (1).

(1) Una ingegnosa applicazione della dilatazione e del restringimento de' corpi per caldo e per freddo fu ideata dal sig. Dumolar in Parigi per rimettere a luogo le mura di una volta che essendosi al-

Pendolo compensatore. — Abbiamo avuto già occasione di fare avvertire che gli orologi ed i pendoli van più celeri nell' inverno che nella state, per effetto delle contrazioni e dilatazioni che l' asta del pendolo soffre. Ma si è giunto a correggere questo difetto, ed i pendoli ne' quali l' effetto della dilatazione è renduto nullo, *pendoli compensatori* sono chiamati. In mille guise se n' è variata la forma Le fig. 197, 198, 199, rappresentano le tre maniere di pendolo, le più generalmente adottate. Il primo è destinato pe' grandi orologi pubblici; esso è sostenuto in *a* da una maniera di leva a squadro *abc*, il cui asse è in *b*; il braccio *bc* è munito di un urtante d' acciajo, il quale viene spinto dalla grossa asta di metallo *m*. Elevandosi la temperatura, il pendolo s' allunga, e con esso anche la traversa *m*, la quale spinge l' urtante, fa girare la leva, e il punto *a* risale. In tal modo la lunghezza del pendolo si trova diminuita, poichè questa si conta soltanto a partire dal pezzo fisso *p*, che tocca la molle flessibile di sospensione. La distanza dell'urtante all'asse *b*, mercè una vite, si regola in modo da determinare una compensazione completa: s'intende come, essendo questa distanza il quarto della lunghezza *ba*, per esempio, il punto *a* percorre un camino quadruplo di quello dell'urtante, e come, essendo la traversa *m* dello stesso metallo dell'asta del pendolo, e quattro volte più corta, la compensazione avrebbe luogo.

La figura 198 rappresenta il pendolo *a grata*. Le 5 aste nere son di ferro, e le 4 intermedie son di rame; se tutte queste aste le indichiamo coi numeri progressivi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, quelle di ferro saranno dinotate dai numeri caffi, e quelle di ottone dai numeri pari. Ancora, le due traverse *t* e *t'* sono fissate alle aste 1 e 9, e formano un sol tutto, mentre le traverse *a*, *b*, *c* son mobili. Le aste 2 ed 8, fissate alla traversa *t'*, col dilatarsi, sollevano la traversa *a*, e con essa le aste 3 e 7 che le son congiunte per le loro estremità superiori, e la traversa *b*, alla quale le medesime aste son congiunte per le loro estremità inferiori. Ma su questa traversa *b* si adagiano le aste 4 e 6, che sostengono in alto la traversa

loutanate alquanto avean prodotta un'apertura nella medesima. Fece egli passare attraverso di queste mura parecchie robuste verghe di ferro ritenute da madreviti, e cominciò a riscaldarne alcune, e mentre esse si allungavano stringeva da fuori le madreviti. Queste verghe nel raffreddarsi tiravan le mura con tanta forza per quanta ne sarebbe stata necessaria a far che esse si distendessero egualmente essendo fredde, e quindi le mura dovenno avvicinarsi fra loro chiudendo l' apertura della volta. Mentre le prime verghe il loro effetto operavano, Dumolard scaldava le altre stringendone del pari le madreviti. Indi lasciando raffreddar queste, scaldava nuovamente le prime, e così operando or sull' una or sull' altra, vide le mura alla primiera giacitura ritornate, il che non sarebbesi con alcun altro mezzo dell' arte potuto conseguire.

I solidi nel dilatarsi e nel restringersi presentano alle volte alcune irregolarità delle quali è mestieri aver conoscenza.

Fu altrove notato come il tubo del termometro dilatandosi col caldo non riprende col freddo il suo antico volume se non molto tempo dopo, e dalle osservazioni del Bartoncelli da Verona risulta, che il termometro tenuto per qualche tempo nell'acqua bollente si abbasserà di tre o quattro decimi R. al di sotto dello *zero*, se venga tosto immerso nel ghiaccio in liquefazione, donde segue, nella formazione del termometro doversi prima segnare lo zero e poi il punto dell' acqua bollente. Nè solo la temperatura dell' acqua bollente sconcerta il termometro, ma anche le temperature minori. La cagione di siffatte alterazioni è sicuramente uno sposamento o sconcerto avvenuto per lo riscaldamento nelle molecole del vetro, le quali non tornano a ricomporsi fra loro se non dopo qualche tempo (*V. G. Belli. Corso elem. di Fisica*).

Anche l' acciaio ci presenta un fenomeno analogo, se da una temperatura molto alta ad una molto bassa si faccia rapidamente passare. Un pezzo di acciaio in fatti il quale entri esattamente in un buco, temperato che sia non vi entrerà più. (*V. Biot. Traité de Phys. t. I.*).

L' argilla in vece di dilatarsi all' azione del calorico si restringe, e quel che è più strano, tiensi tuttavia ristretta dopo che siasi raffreddata. Sul principio si può dire che il fenomeno avvenga per cagione dell' acqua che rimane nell' argilla dopo impastata e seccata, e che va via ridotta dal calorico in istato aeriforme; ed in fatti essa trovasi diminuita di peso. Ma questa ragione non vale per le alte temperature: onde per ispiegare la diminuzione di volume la quale nella più alte temperature tuttavia continua, si suole ammettere che avvenga una più intima unione fra i componenti che meccanicamente misti formano l'argilla, i quali sono principalmente la silice e l'allumina.

Ma se un pezzo di argilla sia stato esposto ad un forte calore e poi siasi raffreddato, e quindi nuovamente si riscaldi, esso si dilaterà sino a che non sia giunto all' alta temperatura antecedentemente provata (*V. Leslie, Bibl Brit. ec. t. 55*). Questa è la singolare proprietà dell' argilla per la quale è stata adoperata per misurare le alte temperature nel *pirometro* di Wegdewood.

Parecchie altre sostanze par che si restringano all' azione del calorico, come la pergamena con molte altre sostanze animali· ma qui forse tutto dipende dal partirsi della umidità, sebbene il Bichat porti opinione che questa proprietà delle sostanze animali sia un risultamento immediato di una legge fisiologica. Per una ragion contraria avviene che alcune altre sostanze, come i legni crescon sovente di volume esposte al freddo.

Anche l' acqua presenta alcune particolarità allorchè si raffredda, ma di ciò sarà discorso altrove.

c ed il punto d' unione dell' asta 5, la quale passa liberamente attraverso un foro delle traverse b e t', e va a sostenere la lente. Laonde, mentre il centro d' oscillazione è, da una parte, abbassato della intera dilatazione del ferro sopra una lunghezza l eguale a quella del pendolo; da un'altra parte è sollevato dell' eccesso della dilatazione del rame su quella del ferro per una lunghezza l' eguale alla somma delle lunghezze delle aste 2 e 4. Affinchè dunque possa aver luogo la compensazione, basta prender le lunghezze l ed l' talmente che si abbia

$$l'c-l'f=lf, \text{ ovvero } l'\left(\frac{c}{f}-1\right)=l,$$

essendo c la dilatazione del rame ed f quella del ferro. Or il valore di $\frac{c}{f}$ essendo presso a poco $\frac{5}{3}$, ne risulta approssimativamente

$$l'=\frac{3l}{2},$$

vale a dire che la somma delle metà delle lunghezze delle aste di rame dev'esser circa una volta e mezzo la lunghezza del pendolo ad asta di ferro.

La *fig.* 199 rappresenta un pendolo compensato mercè la dilatazione del mercurio: questo liquido è contenuto in un vase cilindrico di vetro e fa l' uffizio di lente: siccome il suo livello s' innalza per il calore, anche il centro d' oscillazione s' innalza. Basta dunque proporzionare l' altezza e la massa del cilindro di mercurio, secondo la lunghezza e la sostanza dell' asta del pendolo.

Lamine di compensazione. Si dà questo nome ad un sistema di due lamine di metalli diversamente dilatabili, o saldate insieme o unite con chiodi molto vicini tra loro. Supponiam che una di queste lamine sia fatta, per esempio, di zinco e di ferro, e che essa alla temperatura di 20° stia dritta, è chiaro al di sopra di 20° doversi curvare, trovandosi lo zinco che più del ferro si allunga alla parte esterna (*fig.* 188), ed al di sotto di 20° doversi curvare in modo che lo zinco che più del ferro si accorcia alla parte interna. L'apparecchio rappresentato dalla *fig.* 189 pone in evidenza cotesta proprietà; la lamina dritta ab è composta di due striscie, di ferro l'una, e di zinco l' altra; tuffandola nell' acqua calda, vedesi l' estremo libero b avanzarsi dal lato f e mettere in moto l' ago g; l' effetto sarà contrario sia nel sottrarla dal bagno d' acqua calda, sia quando la s' immerge in un bagno d' acqua più fredda della temperatura dell' ambiente.

Si è profittato di questa proprietà per compensare *i bilancieri* de' cronometri, e per dare a' naviganti orologi da tasca di un' esattezza che non lascian nulla a desiderare. La figura 200 esprime un bilanciere compensato nel quale si vede che la dilatazione allontana gli estremi a de' raggi dal centro, ma nel tempo stesso per effetto delle lamine compensatrici che si curvano sempre più all' elevarsi della temperatura, gli estremi b degli archi si avvicinano al centro, e tutta l'arte consiste nel combinare gli effetti delle lamine con le variazioni di elasticità della molla spirale, affinchè le oscillazioni restino perfettamente isocrone, malgrado le variazioni di temperatura. È per questo che agli archi, *a doppio metallo*, dei bilancieri, si adattano delle masse d' oro m, a vite, le quali servono a regolare la compensazione, e mantenere il centro di gravità nell'asse del moto.

Termometro a quadrante (*fig.* 190). — La lamina di compensazione fgh è composta di rame e di acciaio, essa è fermata in f, curvata in g, e termina in h. Intorno all' asse b gira una leva il cui braccio piccolo sta continuamente appoggiato verso l' estremo h, ed il braccio grande porta i denti dd'. I picciolissimi moti che la dilatazione può ingenerare all' estremo h sono già ingranditi nella ragione delle braccia della leva; poi i denti dd' *s' ingranano* in un piccol rocchello che gira intorno all' asse centrale c e l' ago li girando intorno all' asse medesimo ingrandisce di più il moto del rocchello. Le dimensioni si regolano in guisa che i 100° del termometro centigrado corrispondono quasi ad una intera rivoluzione dell' ago. Questi strumenti debbono esser graduati sul termometro a mercurio di grado in grado, o almeno di 10 in 10 gradi.

Termometro di Régnier. Cotesto termometro si compone d' un' asta di rame (*fig.* 191) e d' una striscia di ferro f, conformata ad arco, i cui estremi son fissi sull' asta di rame. In virtù della dilatazione, il culmine dell' arco si avvicina alla corda ed opera sopra un pezzo a che mette in moto l' ago g.

Termometro di Breguet. — Questo è il più delicato ed il più comodo di tutt' i termometri metallici. Esso è composto di un piccol nastro metallico di 1 in 2 millimetri di larghezza avvolto a spira come lo indica la figura 192; la spira con la sua parte superiore è unita ad un pezzo di rame che la

lascia perfettamente libera ed isolata, e tiene nella parte inferiore un leggerissimo ago orizzontale la cui punta scorre sulla circonferenza del cerchio graduato *cc'*; il cerchio è vôto, e sta poggiato sopra tre piccoli piedi, acciocchè l'aria possa fra i giri dell'elica facilmente circolare. Una campana covre lo strumento per poterlo difendere dalle esterne agitazioni.

Il nastro della spira è composto di tre laminucce metalliche soprapposte, di argento cioè, di oro e di platino: quella d'oro che sta nel mezzo serve ad unire le altre due. Questo sistema da prima ha una certa grossezza, ma poi si riduce in lamina che ha la intera grossezza $\frac{1}{60}$ di millimetro: si può da ciò comprendere quanta poca materia lo strumento contenga e con quanta prestezza prenda la temperatura dell'aria che lo tocca.

Essendo diversa la dilatazione del platino e dell'argento, la spira si avvolgerà o svolgerà, secondo che la temperatura si renderà più alta o più bassa, e l'ago girerà seguendo tali moti. Lo strumento si gradua paragonando il suo cammino con quello di un sensibilissimo termometro (1).

Pirometro di Brogniart. — L'uffizio di cotesto termometro è quello di paragonare l'intensione del fuoco delle *muffole* nella fabbricazione della porcellana. Componesi (*fig.* 203) d'un sostegno di porcellana ravvivata (*dégourdie*) o biscotto, nel quale avvi una scanalatura a gola, entro la quale s'adagia un cilindro d'argento *ab*, ed in continuazione di questo un altro cilindro della stessa materia del sostegno, il quale opera sopra un ago *g* mobile sopra un quadrante *c*. Il cilindro di porcellana si dilata presso a poco come il sostegno su cui poggia, ed ottiensi per effetto l'intero eccesso della dilatazione dell'argento su quella della corrispondente lunghezza del sostegno; in virtù di quest'eccesso muovesi l'ago, ed i suoi moti, lungi dal dare i gradi della scala termometrica ordinaria, servono però a regolare con sufficiente approssimazione il fuoco della *muffola*, al di fuori della quale sta il quadrante, e circa i due terzi della lunghezza dell'apparecchio.

129. *Dilatazione de' liquidi.* — Ne' liquidi si distingue la *dilatazione apparente* e la *dilatazione assoluta*: la dilatazione apparente è quella che par che prendano i liquidi entro i vasi che li contengono; la dilatazione assoluta è quella che prenderebbe il liquido tenuto in un vase che non soffrisse alcuna dilatazione.

I signori Dulong e Petit hanno determinato la *dilatazione assoluta del mercurio*, mercè un semplicissimo strumento, il quale riposa sul principio idrostatico che le altezze delle colonne in equilibrio sono tra loro in ragione inversa delle densità.

Per mostrare, in un corso pubblico, la possibilità di giungervi con questo mezzo, si fa la sperienza seguente: due cannelli di vetro (*fig.* 206) di circa un metro d'altezza, e comunicanti con le loro parti inferiori, contengono un liquido colorato, dell'acqua o dell'alcool; ciascuno di essi è circondato da un vase cilindrico. In quello di sinistra, per esempio, si versa acqua alla temperatura 0°; in quello a dritta si versa acqua calda, ed all'istante il livello del cannello più caldo, s'innalza d'una quantità sensibilissima, al di sopra di quello del cannello più freddo. Una tale differenza è l'effetto della dilatazione, e non dipende, evidentemente, se non dalle temperature delle colonne liquide e delle loro altezze.

La fig. 205, tav. 8, rappresenta lo strumento di Dulong e Petit, tal quale è stato disposto per le loro ricerche.

at ed *a't'* son due tubi verticali comunicanti per mezzo del tubo orizzotale *tt'*. Si empiono di mercurio sino all'altezza *n*,*n'*; l'azione capillare è nulla attesa la grandezza de' loro diametri, e quantunque il tubo *tt'* sia strettissimo pure si ha eguaglianza di pressione. Cotesto ordigno sta appoggiato sopra una riga di ferro *ff'*, e questa sopra una grossa tavola di legno che si pone a livello mercè le viti *v*, *v*. Due sostegni di ferro *m* ed *m'* portanti degli anelli a chiavetta *c* e *c'* mantengono i tubi in sito verticale. Il sostegno *m* termina in un arco di ferro il cui estremo deve servire di segno.

Un braccio si mantiene alla temperatura 0, e l'altro si porta successivamente a diverse temperature; ed in queste ricerche tutto riducesi a misurare con diligenza le disuguali altezze delle due colonne e la temperatura della colonna dilatata.

Le altezze delle colonne al di sopra dell'asse del tubo *tt'* si determinano con un particolare strumento rappresentato dalle figure 218, 219 e 220 tav. 9, e che si può chiamare *catetometro*, percicocchè serve a misurare tutte le altezze lineari verticali, e ci sarà utile specialmente per le dilatazioni de' gas. Il catetometro è composto di un piede a tre viti *calanti*, sul quale sta un solidissimo asse verticale; sopra

(1) Alle volte cotesti termometri sogliono avere la forma di un orologio da tasca.

di questo è adattato un cilindro a, in modo che possa comodamente girare; una riga divisa bb' trovasi unita al cilindro in guisa da poter girare con esso. Questa riga è renduta inflessibile mercè il rilievo c, ed un cannocchiale orizzontale d, con la sua livella c, con le sue viti di regola e di pressione, si può muovere dall'alto in basso e da basso in alto sulla intera sua lunghezza bb'; il sostegno del cannocchiale è corredato di un nonio il quale scorre sulle divisioni della riga, rende agevole il misurarne i 20^{mi} ed anche i 30^{mi} di millimetri. Per regolare lo strumento si dispone prima il cannocchiale osizzontale per mezzo della sua livella, si voltan quindi le viti calanti del piede, fino a tanto che la livella resti immobile nel tempo di una intera rivoluzione della riga intorno all' asse di rotazione

Per l'esperienze delle quali si tratta, il catetometro si dispone ad una certa distanza in modo che gli assi de' tubi at ed $a't'$ ed il segno r si trovino successivamente al punto di vista, allorchè si fa girare il cannocchiale intorno all' asse dello strumento, dopo di averlo posto alla conveniente altezza. Allora si determina una volta per sempre l'altezza h del segno r al di sopra dell'asse del tubo orizzontale tt'; fatto ciò, in ogni osservazione si prende di mira il segno, e si vede poi di quanto convien che discenda o ascenda il cannocchiale, affinchè guardi la cima delle due colonne; se per esempio è mestieri che discenda di z per l' una e di z' per l' altra, le altezze delle colonne saranno $h-z$ per la prima ed $h-z'$, per la seconda. Le temperature si determinano nel modo che segue: il tubo at è circondato da un cilindro g il quale si empie di ghiaccio pesto, e per lo piccolo finistrino o si può col cannocchiale guardare la cima della colonna. La temperatura del sostegno f restando la stessa, il segno r sesterà fisso. Il tubo $a't'$ è del pari circondato da un cilindro g' il quale si empie di un olio fisso che si eleva oltre i 300° senza bollire. Un fornello edificato intorno a g' serve a riscaldarlo in vario grado. Due termometri i ed i' servono ad indicare la temperatura del bagno d' olio, ed in conseguenza quella del mercurio. Il primo i è un termometro ad aria del quale daremo altrove la descrizione; il secondo i' è un termometro a mercurio (*fig.* 191) che si potrebbe chiamare termometro a peso (vedi pag. 135): il mercurio dilatandosi esce nella piccola capsola e; si raccoglie, si pesa ed il peso si paragona a quello del mercurio contenuto nel tubo alla temperatura 0, e se ne deduce la temperatura completata sul termometro a mercurio. Le temperature e le altezze delle colonne rapidamente si osservano, allorchè si son chiuse tutte le aperture del fornello, e nel tempo del massimo che dura parecchi momenti

Noi abbiamo veduto (127) che la dilatazione cubica è data dalla formola

$$m=\frac{v'-v}{vt}\ (1).$$

Qui conosciamo t, e non abbiamo bisogno di conoscere nè v, nè v', perciocchè i volumi sono in ragione inversa delle densità, e nel nostro apparecchio le densità sono in ragione inversa delle altezze delle colonne: i volumi dunque son come le altezze delle colonne; ma $h-z$ dinota l' altezza della colonna del tubo at che trovasi alla temperatura 0, ed $h-z'$ l' altezza della colonna del tubo $a't'$ per la temperatura t, avremo perciò

$$\frac{v'}{v}=\frac{h-z'}{h-z};$$

$$\frac{v'-v}{v}=\frac{z-z'}{h-z},\ (2)$$ e per conseguenza

$$m=\frac{z-z'}{t(h-z)};$$

perciocchè $\frac{v'-v}{v}$ è la dilatazione corrispondente a $t°$.

Con questo mezzo Dulong e Petit giunsero a determinare la dilatazione del mercurio fino a 300°, e trovarono i risultamenti che seguono:

(1) Perciocchè si è avuto $v'=v\,(1+mt)$, dalla quale equazione ricavando m si ha $m=\frac{v'-v}{vt}$.

(2) Imperciocchè dall' equazione si ha

$$v':v=h-z':h-z$$

e dividendo si avrà

$$v'-v:v=z-z':h-z$$

ossia

$$\frac{v'-v}{v}=\frac{z-z'}{h-z}.$$

Temperature del termometro ad aria	Coefficiente medio per 1°	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme
0		0
100	$\frac{1}{5550} = 0,00018018$	100
200	$\frac{1}{5425} = 0,00018433$	201,61
300	$\frac{1}{5300} = 0,00018868$	314,15

Ogni incertezza sopra questi risultamenti, per motivo del cangiamento che le sperienze di Rudberg hanno recato nel coefficiente di dilatazione dell' aria è svanita, dietro le nuove ricerche del Regnault. Questo valente fisico, riprendendo le medesime aperienze con metodo analogo, ma assai perfezionato, trova dei numeri poco diversi. Ecco un estratto della tavola, che ha voluto comunicarmi.

Temperature del termometro ad aria	Coefficienti medii per 1°	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme
0.		0°
50.	0,00018024	49, 67
100.	18143	100, 00
150.	18262	150, 98
200.	18382	202, 63
250.	18500	251, 93
300.	18620	307, 88
350.	18740	361, 52

Ecco come si determina la dilatazione dei corpi solidi mercè quella del mercurio.

Dilatazione del vetro. — Ad un riserbatoio di vetro si salda un cannello corto e strettissimo, si riempie di mercurio a 0 e si pesa; sia p il peso del mercurio; si riscaldi in un bagno fino ad una temperatura nota t; una parte del mercurio uscirà, questa si raccoglie e si pesa; sia p' questo peso; con questi due dati e col coefficiente di dilatazione del mercurio si può determinare il coefficiente m' di dilatazione cubica del vetro. E per fermo, essendo d la densità del mercurio a 0 essa a t^0 sarà $\frac{d}{1+mt}$; sia v il volume o la capacità del vetro a 0; passando a t, essa diverrà $v(1+m't)$; si ha da un'altra parte

$$p=vd; \ (p-p')\left(\frac{1+mt}{d}\right)=v(1+m't);$$

ne segue

$$(p-p')(1+mt)=p(1+m't),$$

d' onde $m'=\frac{(p-p')mt-p'}{tp}$.

In questo modo sonosi avuti i numeri riportati alla pagina 129. È forse inutile avvertire che questa formola non può estendersi a quelle temperature per le quali il valore di m rimane incerto.

Dilatazione del ferro. — Dulong e Petit hanno tenuto questo metodo per determinare il coefficiente di dilatazione de'metalli che non sono attaccabili dal mercurio. Prendiamo ad esempio il ferro. Prima di saldare il cannello stretto del riserbatoio, che in questo caso deve essere lungo e largo, vi s'introduce una verga di ferro; siano p'' e d'' il suo peso e la sua densità che sono conosciuti, sia m'' il suo coefficiente di dilatazione che vuolsi determinare. Si empie lo strumento di mercurio e si trova che a 0 esso ne contiene un peso p, essendo d la sua densità ed m il suo coefficiente di dilatazione; si riscaldi poi sino ad una temperatura t e sia p' il peso del mercurio che esce; il volume del mercurio che rimane a t^0 sarà

$(p-p')\frac{1+mt}{d}$; il volume del ferro $p''\frac{1+m''t}{d''}$, quello del riserbatoio $\frac{p}{d}(1+m't)$, e si avrà

$$(p-p')\frac{1+mt}{d}+p''\frac{1+m't}{d''}=\frac{p}{d}(1+m't)$$

d'onde si può ricavare m''.

Termometro a peso o a riversamento.—Dulong e Petit fecero uso nelle loro ricerche di un termometro, che è molto più utile del comune termometro, specialmente quando debbonsi osservare temperature elevate. Questo è rappresentato dalla figura 194. Esso è quello stesso strumento di sopra menzionato e con cui si determina la dilatazione assoluta del vetro. Sia p il peso del mercurio ch'esso contiene a 0; p' il peso del mercurio che ne esce passando da 0 a 100°; se lo strumento fosse unito ad un cannello cilindrico, questo peso p' sarebbe quello del mercurio in esso allogato, e supponendolo anche alla temperatura dell'acqua bollente esso n'empirebbe tutta l'estensione da 0 fino a 100°. Ma allora il riserbatoio contenendo solo un peso di mercurio espresso da $p-p'$, è chiaro che a questa temperatura la capacità del cannello tra 0 e 100° sta a quella del riserbatojo al di sotto di zero come p' sta a $p-p'$. Ora se il cannello ed il riserbatoio sono di materia egualmente dilatabile, questa ragione resterà la stessa a tutte le temperature; la capacità dunque corrispondente ad 1° sarà sempre la centesima parte di $\frac{p'}{p-p'}$. Dulong e Petit hanno trovato $\frac{p'}{p-p'}=\frac{1}{64,80}$ per lo vetro da essi usato, per cui la capacità di 1° era di $\frac{1}{6480}$ della capacità del riserbatoio computato fino al zero della scala. D'onde segue che ne' termometri a mercurio con cannello, fabbricati con questa specie di vetro, il valore di 1° è sempre $\frac{1}{6480}$ di quello del riserbatoio. Si può dunque sopprimere il cannello, raccogliere il peso p'' del mercurio che esce quando si porta lo strumento da zero ad una temperatura qualunque t, e questa sarà di tanti gradi per quante volte $\frac{p''}{p-p''}$ contiene $\frac{1}{6480}$; sarà cioè

$$t=\frac{6480p''}{p-p''}$$

Le temperature ricavate da questa formola sono quelle stesse che sarebbero indicate da un termometro a cannello perfettamente graduato.

Il termometro a riversamento offre anche maggiore certezza, perocchè il riserbatorio ed il cannello quantunque formati dallo stesso vetro, pure possono non avere la stessa dilatazione, il che è una cagione di errore pe' termometri a cannello, perocchè i gradi non sono allora più conformi alla definizione.

Ma non deve essere dimenticato che la dilatazione non è la stessa per tutt'i vetri; onde $\frac{p'}{100(p-p')}$ non sarà sempre eguale ad $\frac{1}{6480}$, e però la formola generale della temperatura diventa

$$t=100\,\frac{p''(p-p')}{p'(p-p'')}.$$

p è il peso del mercurio a zero, p' quello del mercurio che esce passando da 0 a 100°, p'' quello del mercurio che esce passando da 0 a t.

Tutta la graduazione del termometro a peso riducesi dunque a determinare una volta per sempre p e p'; e se non si volesse per ogni esperienza ridurre lo strumento a zero per avere p'', vi si potrebbe supplire pesando lo strumento dopo l'esperienza per vedere ciocchè manca al suo peso.

Con questo strumento, disposto verticalmente nel mercurio bollente, Dulong e Petit determinarono la temperatura dell'ebollizione del mercurio in gradi del termometro comune, la quale fu valutata di 360°.

Conosciuto il coefficiente di dilatazione del vetro, si può avere il coefficiente di dilatazione di un liquido qualunque, facendo con questo liquido una specie di termometro a peso; allora rappresentando con m'' il suo coefficiente di dilatazione e con m' quello del vetro, si trova m'' per mezzo della stessa formola che dà il coefficiente del vetro,

$$(p-p'')(1+m''t)=p(1+m't).$$

Allora mercè l'osservazione si determina il peso p del liquido che l'apparecchio contiene a zero, il peso p'' che ne esce passando dalla temperatura 0 alla temperatura t, la quale si ha o con un termometro a peso, o con un ter-

mometro ad aria; conoscendosi m' resta soltanto m'' incognita. Se non che nelle presenti condizioni della scienza l'incertezza che resta intorno a' veri valori del coefficiente del mercurio al di sopra di 100°, resta anche per m' e quindi per m'' ottenuti coi numeri di Dulong e Petit relativi al vetro e registrati nella tavola generale delle dilatazioni.

Tutti i liquidi, tranne il mercurio, hanno delle dilatazioni irregolari, vale a dire hanno un coefficiente di dilatazione che varia con le temperature anche tra 0 e 100°.

Gay-Lussac ha compilato delle tavole di dilatazione per l'alcool corrispondenti a' vari gradi dell'areometro, non che per l'etere e pel solfuro di carbone.

Hallstrom e Desprez hanno determinato la dilatazione dell'acqua di grado in grado, siccome si dirà nel capo che segue.

130. *Dilatazione de' gas*—Gli strumenti che sono stati adoperati finora per determinare la dilatazione de' gas, non essendo atti a ricevere un alto grado di calorico, sonomi data la pena di fare un nuovo istrumento, il quale potesse con pari vantaggio per le più basse non men che per le più alte temperature essere adoperato, senza che l'aria in esso contenuta altra pressione oltre quella dell'atmosfera soffrisse: cotesto strumento del quale mi son giovato per determinare in gradi centigradi tutte le temperature fino a quella della fusione dell'oro, *pirometro ad aria* potrebbe esser chiamato: Vo' prima esporre i principi da quali dipende.

1° *Disposizione dello strumento* (*fig.* 213 tav. 9) a è un riserbatojo contenente il gas che si riscalda; bc è un cannello di comunicazione avente un piccolo diametro interno; t è un cannello di cristallo diviso in parti di eguale capacità; s è un secondo cannello di cristallo dello stesso diametro interno di t, affinchè la capillarità non generi differenza di livello: questi due cannelli comunicano sempre tra loro, z è una chiavetta per la quale si può fare scorrere una parte del mercurio contenuto ne' cannelli.

Si suppone che nel riserbatoio, nel cannello di comunicazione e nella parte superiore del cannello graduato siavi del gas asciutto, e che alla temperatura della neve in liquefazione il mercurio sia perfettamente allo stesso livello nelle due branche, in modo che il gas soffra la pressione atmosferica del momento.

Allora aumentando la temperatura del gas contenuto nel riserbatoio, parte del gas dilatato passa nel tubo diviso: vi ha aumento di pressione; ma a tenore che giunge il mercurio si fa uscire mercè la chiavetta z, in modo da tenerlo sempre allo stesso livello ne' cannelli t ed s, e però il gas che si dilata è sempre mantenuto sotto la pressione atmosferica.

2°. *Formole del calcolo.* c è la capacità a zero del riserbatio nel quale l'aria si riscalda; z è la capacità del cannello di comunicazione; b è il numero delle divisioni che il gas occupa nel cannello graduato partendo dal zero della divisione che trovasi in alto; p è l'altezza del barometro nel momento dell'osservazione.

Il volume del gas contenuto nell'apparecchio alla temperatura 0° e sotto questa pressione p è $c+z+b$; se si trovasse sotto la pressione media di 760 millimetri, avrebbe un volume v dato dall'equizione

$$v=\frac{p}{760}(c+z+b).$$

Questo valore essendo una volta conosciuto, gioverà per trovare il numero b' delle divisioni che sarebbonsi osservate sotto un'altra pressione p'; imperocchè allora si avrebbe

$$v'=c+z+b' \quad \text{e} \quad 760v=v'p'$$

e quindi

$$b'=\frac{760v}{p'}-(c+z).$$

Dinotiamo ora con a il coefficiente di dilatazione del gas, e supponghiamo che la porzione del riserbatoio, la cui capacità è c, sia elevata alla temperatura t, il resto dell'apparecchio avendo la temperatura zero. Nel momento dell'osservazione quando il livello è bene fermato, si osserva nello stesso tempo l'altezza p' del barometro ed il numero d' delle divisioni che il gas occupa nel cannello graduato. Questo numero d' non appartiene tutto al gas dilatato che è venuto nel cannello e che quivi si è raffreddato, imperciocchè sotto questa pressione p' se il riserbatoio fosse stato a zero, il cannello graduato avrebbe già contenuto un numero b' di divisioni dato dalla formola precedente, sostituendovi il valore di p'. E però il vero numero d delle divisioni occupate dal gas dilatato è

$$d=d'-b'.$$

Con questo valore di d egli è agevole di trovare il coefficiente di dilatazione, quando si conosce la temperatura, e per contro determinare la temperatura, quando il coefficiente di dilatazione è conosciuto. E per fermo se il volume c del gas che si riscalda si fosse liberamente riscaldato sotto la pressione p' del momento dell'osservazione, esso sarebbe diventato $c(1+at)$; per conseguenza il volume del riserbatoio che è diventato $c(1+mt)$, m es-

sendo il coefficiente di dilatazione di sua sostanza, più il volume del gas d portato anche alla temperatura t, ossia $d(1+at)$, debbono riprodurre il volume $c(1+at)$. Si avrà dunque

$$c(1+at)=c(1+mt)+d(1+at).$$

donde si ricava

$$a=\frac{cmt+d}{t(c-d)},$$

formola la quale dà il coefficiente di dilatazione per mezzo delle quantità c, d, m, t, le quali sono note.

Se ne ricava anche

$$t=\frac{d}{c(a-m)-ad},$$

formola che dà la temperatura t, quando i due coefficienti a ed m sono conosciuti, unitamente alla capacità c del riserbatoio ed al numero d delle divisioni del gas sopravvenuto per effetto della dilatazione; numero che si ricava dall'equazione $d=d'-b'$, d' essendo direttamente osservato e b' calcolato con la formola

$$b'=\frac{760}{p'}v-(c+z),$$

nella quale si conoscono v, c, z, e la pressione p' del momento dell'osservazione.

Dopo di avere così ridotto l'apparecchio alla sua maggiore semplicità, per farne meglio intendere la disposizione, e dopo di aver dichiarato il modo di fare le osservazioni e di calcolarne i risultamenti, è mestieri ora indicare de' particolari intorno al metodo tenuto per determinare le costanti e per fare le sperienze.

130 *bis*. L'apparecchio che ho descritto è piuttosto un apparecchio di dimostrazione; ecco ora l'apparecchio pratico tal quale è stato da me adoperato, tanto per determinare il coefficiente di dilatazione dell'aria, quanto per misurare le alte temperature.

Coefficiente di dilatazione dell'aria.— Il riserbatoio è di vetro ed è espresso dalla fig.210, tav. 9; il cannello di comunicazione è molto stretto per evitare una correzione che non potrebbe farsi con giustezza, imperciocchè riscaldando il riserbatoio si riscalda anche una parte del cannello; e siccome quì la temperatura è disuguale sulla parte che deve uscire dal bagno, così è forza poter trascurare la sua efficacia.

La capacità di questo riserbatoio si misura pesandolo pieno di aria, ed indi pieno di acqua o di mercurio fino al segno b, d'onde la sua temperatura deve cominciare a decrescere, perchè il resto dell'asta esce dal bagno; facendo le correzioni relative alla temperatura (v. il capo seguente), si ottiene la capacità del riserbatoio a zero per tutta la porzione ove l'aria prende una temperatura uniforme.

Ciò fatto si salda il riserbatoio al cannello graduato, e con una seconda operazione somigliante alla prima si determina la capacità z compresa tra il punto b e l'origine delle divisioni del cannello. Egli è mestieri tener conto della forma del menisco, imperciocchè l'estremo del cannello graduato, il quale nelle sperienze deve essere in basso, quì è in alto, il che farebbe una piccola differenza nel volume dell'aria.

Indi il cannello graduato si mette al suo posto siccome vedesi in t (*fig*.215, tav.9); si adatta cioè sopra un pezzo di ferro f ordinato a ricevere tre cannelli simili, cioè: il cannello s col quale l'altro t deve sempre comunicare per ricevere la pressione atmosferica, ed il cannello r, che è il *cannello di riempimento*: questo comunica co' due primi solo per fare entrare il mercurio nel tempo del raffreddamento. Per questa ragione, il pezzo di ferro porta in z una chiavetta a doppio foro, siccome vedesi un poco al di sotto n° 1 e n° 2; poco al di sotto trovasi anche la chiave z' che serve a far girare la chiavetta. Quando le si dà la giacitura n° 1, il cannello di riempimento comunica con t ed s; quando poi le si dà la giacitura n°. 2, questa comunicazione cessa ed i cannelli t ed s comunicano con l'esterno, mercè il cannello ricurvo y; questo cannello è necessario affinchè l'aria esterna non possa rientrare. Quando si dà alla chiavetta z una giacitura intermedia, i cannelli t ed s non comunicano più nè col cannello di riempimento nè con lo spazio esterno.

Sul pezzo di ferro f si può adattare un cilindro di vetro ll, il quale circondi i tre cannelli e che si empie di acqua per mantenerli ad una temperatura uniforme; ma ho conosciuto che l'uso di tale cilindro di rado era necessario; i cannelli si tengono benissimo alla temperatura dell'ambiente, quante volte si abbia cura d'impedire che questa non venga improvvisamente a cangiarsi.

L'apparecchio così composto è rappresentato nella fig.216, tav.9, il cannello r porta un imbuto per versarvi del mercurio, il cannello t porta il riserbatoio, e l'altro s porta dalla parte di sopra un cannellino curvato, per cui si aspira un poco nel momento dell'esperienza, affinchè la colonna di mercurio oscilli ne'cannelli t ed s, e prenda in entrambi lo stesso livello.

Conviene ora empiere lo strumento di aria o di gas molto asciutto. Per la qual cosa all'estremo del riserbatoio si pratica un sotti-

lissimo cannello il quale serve già per riempirlo, quando se ne dee conoscere la capacità, ed è ordinato anche per introdurvi la quantità di gas necessario. Da prima la punta di questo piccolo cannello è chiusa alla lucerna e si fa il vuoto in tutto l'apparecchio, disponendo le cose nel modo espresso dalla figura 217 e 216. Il cannello di piombo y si adatta con una striscia di gomma elastica sull'altro s, dopo di averne tolto il piccolo cannello ricurvo; esso con l'altro estremo comunica col cannello u di cloruro di calcio, o anche meglio con cannelli di pomice inzuppata di acido solforico, i quali poi da una parte comunicano con la macchina pneumatica e dall' altra con l' aria e con una campana, contenente quel gas sul quale si vuole sperimentare. Per la qual cosa si fa il vuoto e si riempie un gran numero di volte di gas secco. Ciò fatto, togliesi il cannello y e si versa per lo cannello s del mercurio bene asciutto; si rompe la punta del piccolo cannello assottigliato con cui termina il riserbatoio, l'eccesso d' aria asciutta si sprigiona, e si riduce così il livello all' altezza che si vuole nel cannello t, indi nuovamente si chiude l'estremo della punta; questa operazione non cangia sensibilmente la capacità misurata. Ordinato così l'apparecchio si abbandona a se stesso alla temperatura zero, sia operando artificialmente questa temperatura per lo riserbatoio e pe' cannelli, sia pel solo riserbatoio, purchè quella dell' ambiente non ne differisca di molto: in questo ultimo caso si ha una piccola correzione a fare la quale si esegue agevolmente, prendendo l'antico coefficiente 0,00375, si fanno nello stesso tempo parecchie osservazioni per determinare il volume normale v mercè l'equazione precedente

$$v=\frac{p}{760}(c+z+b).$$

Le osservazioni consistono a determinare b e p; si prende la media de' risultamenti avuti per v, la quale si trova così una volta per sempre determinata. Se p è l'altezza del barometro nel momento dell' osservazione, questa deve esser ridotta a zero: b poi si misura mercè il catetometro che abbiamo descritto (130), e che qui si trova accanto allo strumento (*fig.* 218, tav. 9), sopra un piede solido in una giacitura fissa e scelta con diligenza, affinchè si possa con un solo moto del cannocchiale ottenere il perfetto livellamento per ciascuna divisione del cannello graduato t e del suo corrispondente s. Essendo ora complute tutte le operazioni preliminari, altro non rimane fuorchè portare il riserbatoio alla temperatura di 100°. Per far questo si pone in un bagno di vapore di acqua bollente, scegliendo il momento in cui il barometro sia vicinissimo a 760, perchè sonomi avveduto di qualche incertezza, nella quale s'incorre volendo far la correzione quando sia alquanto considerevole. Fannosi così molte sperienze, o, come testè dicevamo, riducendo i cannelli a zero, o pure scegliendo il momento in cui la temperatura vi è molto prossima, salvo la piccola correzione da farsi. Ogni esperienza consiste ad osservare il numero delle divisioni d' occupate dal gas nel cannello diviso, quando il mercurio sarà a livello in questo e nell'altro cannello s, poi nello stesso tempo la pressione barometrica corrispondente p' che si riduce a zero.

Allora mercè l' equazione

$$b'=\frac{760}{p'}v-(c+z),$$

Si computa b'; perocchè v, c, z sono state determinate da prima, c e z mercè le misure, e v per le osservazioni preliminari.

Mercè l' equazione

$$d=d'-b'$$

si determina d; per coefficiente di dilatazione del vetro ho preso nelle mie sperienze quello di Dulong e Petit, $m=0,0000258$. Questi dati essendo sostituiti nella formola

$$a=\frac{cmt+d}{t(c-d)},$$

danno finalmente il coefficiente di dilatazione del gas.

Parecchie serie concordi mi avevano dato per l' aria $a=0,00368$. Io aveva anche riferito i miei risultamenti al Regnault, quando seppi che egli faceva delle ricerche sullo stesso argomento; e poichè alcuni mesi dopo egli comunicò il suo lavoro all'Accademia, così le mie sperienze non essendo più veramente utili io le abbandonai.

Avendo il Regnault estese e variate le sue sperienze e molto più di quello che il tempo avea permesso di fare a me, io do volentieri la preferenza al numero 0,00367 ovvero $\frac{1}{273}$ ch'egli ha ottenuto con un metodo poco diverso dal mio, pel coefficiente di dilatazione dell' aria quando resta sotto una costante pressione.

Rudberg fu il primo a chiamare l'attenzione de' fisici sulla necessità di cambiare il coefficiente 0,00375 determinato già da Gay-Lussac e confirmato dalle ricerche che Dulong e Petit avevano fatto sul cammino comparativo del termometro ad aria, e del termometro a mercurio. Rudberg, avea trovato dal canto suo il

numero 0,00365, media di parecchie serie fatte con diligenza, giovandosi di uno de' metodi seguiti da Dulong e Petit. Più tardi il Magnus giunse al num. 0,0036678. Il suo importante lavoro fu letto all' Accademia di Berlino poco tempo prima che Regnault leggesse il suo all'Accademia delle scienze. Il Magnus avea anche trovati per coefficienti dell' idrogeno dell' acido carbonico e del gas solforato de' numeri pochissimo diversi da quelli che Regnault otteneva per parte sua e che stima come definitivi.

Abbiamo riuniti nella seguente tabella i risultamenti cui il Regnault è pervenuto nelle ricerche cotanto compiute, alle quali egli ha dato opera in materia sì difficile ed importante.

Tavola delle dilatazioni de' gas a pressione costante da 0 a 100° (Ann. de phys. et de chim. 1842, t. 5, p. 80).

Idrogeno	0,366
Aria atmosferica . .	0,367
Ossido di carbonio .	0,367
Acido carbonico . .	0,371
Protossito d'azoto .	0,372
Cianogeno	0,388
Acido solforoso . .	0,390

Il Regnault ha dimostrato con diversi metodi de' quali à fatto uso, che le dilatazioni crescono con la pressione ma in modo differentissimo pei diversi gas. Sotto 3 atmosfere ed $\frac{1}{3}$, la dilatazione dell' idrogeno conserva il suo valore 0,366; quella dell' aria passa da 0,367 a 0, 369; e quella dell' acido carbonico da 0,371 a 0,385.

La dilatazione dell' acido solforoso riceve un aumento di un' altra natura; sotto la pressione 960 millimetri solamente essa passa da 390 a 398.

Questi risultamenti degni d' attenzione mostrano con quanta riserba si debbono ammettere le leggi generali che sembrano le più semplici. Egli è certamente tuttavia permesso di affermare, come per lo innanzi, che i gas ed i vapori abbiano lo stesso coefficiente di dilatazione, e che questo non dipenda dalla densità; ma è forza considerar questa legge semplice e generale piuttosto come un' approssimazione o una maniera di limite verso di cui i fenomeni tendono, anzichè come una legge perfettamente matematica.

Per far meglio intendere il metodo che il Regnault à immaginato per ottenere le dilatazioni di gas sotto pressioni variabili, noi ripeteremo quì la descrizione che egli ne ha data (*Ann. de phys. et de chim., 1842, t. 4.*), d' onde si vedrà che esso non differisce dal mio se non che per le lunghezze relative dei cannelli *t* ed *s*.

« Lo strumento consiste in un grosso globo *à* (*fig.* 221, 222, 223, tav. 9) di 800 a 1000 centimetri cubici di capacità, cui è saldato un cannello termometrico di circa 20 centimetri di lunghezza. Questo globo fa da riserbatojo d'aria, e deve esser portato successivamente da 0 a 100°; esso comunica con un cannello a sifone pieno di mercurio, il quale serve a misurare la forza elastica dell' aria.

« Un grosso cannello *ii'* di 16 in 17^{mm} di diametro interno, perfettamente cilindrico, è unito a mastice con un pezzo di ferro *ih* che porta una chiavetta *k*, questo à un apertura laterale *h* in cui è unito a mastice un secondo cannello *hgfe*, il quale per la lunghezza *fg* à lo stesso diametro del primo. Questo cannello dalla parte di sopra divien capillare, ed è curvato secondo *fed*, e questo pezzo è stato preso sullo stesso cannello termometrico dell'altro *b* saldato al globo. Il cannello *b* entra a strofinio in un piccolo cannello di rame *c* a 3 diramazioni 1, 2, 3, in cui è fortemente unito a mastice. Nella seconda diramazione 2 è unito a mastice un piccol cannello capillare *p*, il quale è stato assottigliato al suo estremo.

Il sistema dei cannelli *ii'* ed *eh* è fermato sopra una tavola, la quale è anch'essa fissata in una giacitura verticale sopra un cavalletto di ferro fuso *ll'*.

« Il globo *a* è circondato da un vase di latta *mn*, nel quale si può far bollire dell'acqua, o pure porvi della neve che circondi il globo. Questo vase è sostenuto da un tripode di ferro *rqq'r'*. Un fornello o, collocato sopra un sostegno *s*, può esser situato sotto il vase *mn* e ritirato a volontà.

« Ecco ora come si dispone l' esperienza. L' estremo aperto del cannello *p* si mette in comunicazione con l' apparecchio di disseccamento, (*fig.* 223) il quale è composto da una tromba a mano per fare il vôto e di due tubi a pomice ed acido solforico, e per chiudere la branca 3 vi s' immette, mercè un tubo di gomma elastica, l' estremo di un tubo perfettamente chiuso. L' acqua del vase *mn* si porta all' ebollizione, e per molte volte si fa il vuoto nel globo *a*, lasciando per ogni volta entrar l' aria molto lentamente.

« Il cannello *hgefd* è stato molte volte disseccato nello stesso modo a caldo prima di unirlo a mastice col foro *h*, e tosto si è versato del mercurio asciuttissimo nel cannello *ii'*, in

modo da riempire il cannello *hgf* fino al suo orifizio *d*. Così facendo l' umido non potea penetrare in questo cannello. Si avea cura nello stesso tempo di tenere l'estremo del cannello *d* coperto con un poco di gomma elastica.

« Il globo *a* essendo pieno d' aria secchissima, si toglieva l'estremo del tubo chiuso, che nel tempo della essiccazione era introdotto nel foro 3, ed introducevasi in questo, mercè la gomma elastica, il cannello capillare *de*; questo cannello entrava perfettamente nel foro di rame e venivasi a situare capo a capo sul cannello *b*, in modo che nel piccolo tubo di rame *c* non eravi altro vuoto, fuorchè l'interno dei cannelli termometrici che vi si trovavano introdotti. Altre volte il cannello *de* si fermava entro il foro con mastice.

« Si apre la chiavetta *k*; il mercurio che esce è sostituito nel cannello *efg* dall' aria che ha attraversato l' apparecchio di disseccazione. Il mercurio si fa scorrere fino a che il suo livello nel tubo *fg* non giunga ad un segno *t* fatto sul medesimo. Il mercurio per altro è allo stesso livello nei due tubi, perocchè esso dall' una e dall' altra parte comunica liberamente con l' aria.

« Ora si separi l' apparecchio di essiccazione, e si chiuda alla lucerna la punta del cannello *p*. Si noti nell' istesso tempo l' altezza del barometro.

« Si tolga il fornello che mantiene in ebollizione l' acqua del vaso di latta. Affinchè il globo *a* si raffreddi più presto, si faccia scorrere l' acqua calda aprendo la chiavetta *u*; si tolga il coverchio *a'b'c'd'e'f'gh'*, e si versi molte volte dell' acqua fredda nel vase per raffreddarne le pareti. Finalmente si circondi il globo *a* compiutamente di neve pesta la quale si mantiene mercè una tela attaccata all' orlo *c'd'* del vase.

« L' aria restringendosi per lo raffreddamento, il mercurio ascenderà nel cannello *gf*; ma esso si manterrà allo stesso livello facendo scorrere il mercurio per la chiavetta *k*.

« Quando si è certo che l' aria del globo *a* abbia presa la stessa temperatura della neve in liquefazione, si noti il barometro *h'*, e si misuri mercè il catetometro la differenza di livello $tt'=z'$. Così hannosi tutti i dati necessari per determinar la dilatazione dell' aria; ma essa si può anche ottenere in un altra maniera che è la seguente.

« Introducasi la punta chiusa del cannello *p* di nuovo nell' apparecchio di essiccazione; si faccia in questo molte volte di seguito il vuoto, per esser sicuro che si riempia di aria ben secca, indi si rompa la punta del cannello *p*. Il mercurio allora discenderà nel cannello *fg*, ma esso si manterrà in *t* versando del mercurio per lo cannello *ii'*.

« Dopo un certo tempo si chiuda di nuovo alla lucerna la punta del cannello *p*, e si noti l' altezza *h''* del barometro. Indi si tolga la neve si riponga il coverchio *a'b'c'd'* del vaso di latta, e facciasi di nuovo bollire l'acqua in esso contenuta. Versando del mercurio nel cannello *ii'* se ne mantenga il livello in *t* nel cannello *fg*. Quando il globo è stato per circa un' ora nell' acqua bollente, si noti il barometro *h'''*, e si misuri la differenza di livello $tt''=z'''$ del mercurio nelle due colonne.

« Nel calcolo dell' esperienza è necessario tener ragione del picciolo volume d' aria che resta sempre alla temperatura dell' ambiente. Per la qual cosa egli è mestieri conoscere la ragion di questo volume alla capacità del globo *a*. Questa ultima capacità *v* era determinata appositamente con acqua distillata, ed il volume *v'* dell' aria rinchiusa nei cannelli termometrici *b*, *p*, *def*, del pari che nella parte *ft* del cannello più largo, è stata misurata mercè il mercurio. Laonde si è avuto in tal modo:

$$\frac{v'}{v}=0{,}002715.$$

« Il coefficiente di dilatazione del vetro del globo si è ricavato da esperienze fatte sopra altri globi dello stesso vetro, ma più piccioli; esso si è trovato essere 0,0000233.

« Le temperature del piccolo volume d'aria *v'* e del mercurio delle colonne erano indicate da termometri convenientemente collocati.

« La formola che appartiene al primo periodo dell' esperienze è la seguente:

$$1+at=\frac{(1+mt)\,h}{h'-z'-\dfrac{v'}{v}\,\dfrac{1}{1+at}(h-h'-z')}$$

e quella che appartiene al secondo periodo è

$$1+at=\frac{(1+mt)(h+z)}{h'-\dfrac{v'}{v}\,\dfrac{1+at'}{1}(h+z-h')}\text{ b.}$$

Mi duole che lo spazio non mi permette di riferire gli elementi stessi dell' esperienze del Regnault: si sarebbe anche meglio giudicato quanto il suo metodo è semplice e rigoroso.

Nelle formole che precedono,

t è la temperatura della ebollizione dell'acqua sotto la pressione barometrica h, nel momento dell'osservazione, temperatura la quale ricavasi dalla stessa altezza del barometro: per questa correzione il Ragnault seguendo il Biot accetta 26mm,7 per la differenza di pressione corrispondente ad 1°.

t' è la temperatura dell'ambiente in cui trovasi il piccolo volume v'; essa è sensibilmente la stessa nelle osservazioni relative alla neve in liquefazione ed all'acqua bollente.

h' è l'altezza del barometro nel momento in cui si fa l'osservazione della nave in liquefazione; z e z' sono le differenze di livello che sono state osservate nei tubi fg ed ii'; z' appartiene al primo periodo dell'esperienza, e z al secondo.

m è il coefficiente di dilatazione del vetro. S'intende che t, t', h, h', possono non avere gli stessi valori numerici nelle due formole che appartengono al primo ed al secondo periodo dell'esperienza.

Nel primo periodo l'aria del riserbatojo è, sotto la pressione atmosferica, alla temperatura dell'ebollizione dell'acqua; ma essa ricade sotto una pressione di soli 55 centimetri quando il globo si pone nella neve. E per contro nel secondo periodo l'aria stà sotto la pressione atmosferica a 0°, e si eleva ad una pressione di circa 104 centimetri alla temperatura dell'ebollizione.

Ma lo strumento si presta facilmente per più grandi differenze di pressione: ed in fatti per avere pressioni molto più deboli della pressione atmosferica, basterà dare al cannello fgh una grande altezza al di sopra del foro h; e per contro, per avere pressione di due o tre atmosfere, basterà dare al cannello ii' una grande altezza. Tutto ciò è stato dal Regnault eseguito in altre serie di esperienze, ed in tal modo egli ha avuto i numeri che noi abbiamo di sopra riferiti.

Il Regnault si è eziandio giovato dello stesso metodo per fare un nuovo paragone dell'andamento relativo dei termometri ad aria ed a mercurio. Per la qual cosa il suo globo riserbatojo d'aria era posto in un bagno d'olio, circondato da tre termometri a ribocco, i quali indicavano le temperature del termometro a mercurio, nell'atto che il globo messo, siccome nell'esperienze antecedenti, in comunicazione coi cannelli fgh ed ii', indicava le temperature corrispondenti del termometro ad aria.

Ecco il risultamento di questo paragone, estratto dalla sua memoria del 1846.

Termometro ad aria	Termometro a mercurio in vetro ordinario	Termometro a mercurio in cristallo di Choisy
0°	0°	0°
100	100	100
125	124,93	125,10
150	149,80	150,40
175	174,70	175,70
200	199,67	201,25
225	224,80	227,00
250	250,03	253,00
275	275,45	279,17
300	301,10	305,65
325	327,10	332,75

131. Per conoscere le temperature più alte di 350°, di 400°, non sono più bastanti i riserbatoi di vetro, ma è mestieri ricorrere ai riserbatoi metallici; per la qual cosa io aveva fatto fare dei riserbatoi di platino per adattarli allo strumento che ho di sopra descritto.

Uno di questi riserbatoi è rappresentato nella figura 209, tav. 9; al foro b è adattata a vite una verga di platino che è poi saldata all'oro; essa è penetrata da un foro di circa un millimetro; una seconda asta, che può essere d'argento si unisce alla prima mercè una ghiera c; finalmente l'asta di argento si spiega e termina in una maniera di turacciolo che si adatta all'orifizio del cannello graduato t della figura 216. Per ridurre il volume dell'aria compresa nelle aste forate di platino e d'argento, vi s'introduce un filo di platino di conosciute dimensioni, il quale lasci al gas una libera circolazione. Si determina, come innanzi abbiam detto la capacità c del riserbatojo, e la capacità z dei cannelli di comunicazione: nei vari riserbatoi che io ho adoperato c era di circa 60 centimetri cubici e z di circa 2 centimetri cubici. Lo strumento si dissecca e si riempie di aria asciutta, indi si pro-

cede perfettamente nel modo che abbiamo detto per lo riserbatojo di vetro. La formola che dà la temperatura è la stessa, cioè :

$$t = \frac{d}{c\,(a-m) - ad}$$

t, temperatura.

c, capacità del riserbatojo in cui l' aria si riscalda.

a, coefficiente di dilatazione dell'aria.

m, coefficiente di dilatazione del platino.

d, volume dell' aria venuta nel cannello graduato per effetto della dilatazione.

Abbiamo veduto come si ha il valore di *d* ne' riserbatoi di vetro ; qui si presenta un fenomeno incomodissimo per ricerca molto precisa : il riserbatoio di platino condensa l' aria che si svolge ad una temperatura vicino a 100°, e solo al di sopra di questa temperatura esso si comporta come un riserbatoio di vetro ; alle temperature inferiori quest' aria, in certo modo dissimulata, svolgendosi più o meno, secondo la temperatura e la pressione, turba la giustezza delle osservazioni che si vorrebbero tentare.

In questo stato di cose è necessario seguire il pirometro ad aria con un termometro a mercurio fino a 100 in 120° ; i volumi d' aria osservati riduconsi allora col calcolo a quel che sarebbero a zero, se il fenomeno di assorbimento non avesse luogo ; solo dopo di aver fatte queste correzioni e quelle che dipendono dalla temperatura del cannello graduato, si giunge ad ottenere i valori di *d*, i quali entrano nella formola e danno la temperatura che si cerca.

La disposizione delle sperienze è rappresentata nella fig.214, tav.9. *f* è un fornello quadrato di mattoni refrattarii ed acconcio per questa generazione di esperienze, esso cioè ha tale disposizione che vi si può agevolmente porre il carbone e governare il fuoco, tanto per la chiave del tubo *t*, quanto per lo registro che chiude il cenerario *c* in modo da togliere il passaggio all' aria.

m è una graticola di ferro sostenuta da grosse verghe ed ordinata a ricevere il riserbatojo di platino, perocchè è da per tutto circondata da carboni , e perchè il succiamento (*tirage*) si fa regolarmente attraverso delle verse della graticola in guisa da generare da per tutto una combustione egualmente energica. Quando si vuol fare un' osservazione si chiude il fornello , e col catetometro si osserva se il livello del mercurio sia perfettamente immobile ne' due cannelli *t* ed *s* ; allora si noti la divisione corrispondente del cannello *t* o piuttosto la divisione del catetometro sul quale si riscontra; si nota nello stesso tempo l'altezza del barometro e la temperatura ambiente del cannello *t* e dei cannelli di comunicazione.

Io ho fatto così parecchie serie di esperienze : 1° per conoscere le temperature corrispondenti alle diverse gradazioni del rosso dell' incandescenza , guardando per mezzo di un tubo l' interno colore della graticola e del riserbatojo ; 2° per determinare la temperatura della fusione dell' oro e dell' argento : per quest' oggetto ponevasi entro la graticola di rincontro al riserbatojo delle piccole coppelle contenenti i metalli ; 3° per determinare la capacità pel colorico del platino a diverse temperature ; per far questo ponèva nella graticola vicino al riserbatojo un crogiuolo di platino a grosse pareti, entro di cui eravi una sfera dello stesso metallo di 178s di peso (v. 2° vol. *Colorimetria*).

Le capacità del platino, proseguendo la legge trovata, mi han permesso di apprezzare poi le temperature più alte di quelle cui io poteva esporre il mio strumento. Queste antiche esperienze sono state calcolate mercè il coefficiente 0,00375. Aspettando che possano essere trattate col nuovo coefficiente 0,00367 io le riproduco nella seguente tabella.

Colori del platino	Temperature
Rosso incipiente . . .	525
Rosso oscuro	700
Ciliegia nascente . .	800
Ciliegia.	900
Ciliegia chiara. . . .	1000
Arancio cupo	1100
Arancio chiaro . . .	1200
Bianco	1300
Bianco sudante . . .	1400
Bianco abbagliante . .	1500

Coteste indicazioni non sono tanto vaghe per quanto a prima giunta potrebbe sembrare. Quando si è giunto a studiare il corso comparativo delle tinte del colore e de' gradi di temperatura indicati dal pirometro ad aria, egli è agevole il persuadersi che con un poco di esercizio non si sbaglia di 50° sulla vera temperatura di un corpo, di cui si può osservare la tinta senza straniero riflesso.

131 *bis*. *Applicazione della dilatazione dei gas.—Simpiezometro di Bunten, ovvero strumento per misurare la pressione atmosferica con la temperatura dell'aria.* Cotesto strumento è rappresentato dalla fig.224,tav.9; esso com-

ponesi d'un termometro ad alcol *ab*, e d'un tubo *ced*, incurvato in *e*, ed aperto nel suo estremo superiore *d*. Il riserbatojo *c* del tubo ad aria sta *nell'interno* del riserbatojo del termometro, in maniera tale che trovasi circondato completamente dall'alcool; la parte inferiore del riserbatoio e del tubo ad aria contengono una colonna d'olio di mandorle dolci, colorata in rosso; questa colonna per l'apertura *d* riceve continuamente la pressione atmosferica; l'altra estremità della colonna sostiene la pressione dell'aria rinchiusa in *c* e nella parte superiore del riserbatoio ad aria. Da cotesta disposizione risulta che la temperatura dell'aria è sempre indicata con moltissima approssimazione dal termometro ad alcool. Rimanendo la stessa questa temperatura, è evidente, che aumentandosi la pressione atmosferica, l'olio discenderà nel ramo aperto, ed ascenderà, all'opposto, se la pressione diminuisce. Parimente si vede che, rimanendo costante la pressione, l'olio ascende o discendo nel ramo aperto, secondo che la temperatura si eleva o si abbassa. S'intende dunque esser possibile di graduare lo strumento in guisa che, conosciuti gli effetti della temperatura, si possan dedurne quelli della pressione, e quindi il valore assoluto di questa pressione espresso in centimetri o millimetri di mercurio.

Ecco in qual modo si procede per cotesta graduazione: si sceglie l'istante in cui il barometro segna 760 millimetri, si pone tutto l'apparecchio nel diaccio in fusione, e si segna il zero sulla scala del termometro *ab*, ed il punto corrispondente a 760 di rincontro al vertice della colonna d'olio nel ramo aperto del tubo; cotesto punto di 760 si segna sopra una scala mobile *m*, che si pone in riscontro con la scala fissa del termometro *ab*; rimanendo la temperatura a 0°, si produce un *abbassamento*, per esempio, di 30 millemetri nell'aria atmosferica che opera sul ramo aperto; allora l'olio ascende, e si segna 730 millimetri in quel punto ove la colonna s'arresta sulla scala mobile, che è rimasta sempre al suo posto, ed in riscontro con la scala termometrica. Lo spazio compreso tra 760 e 730 si divide in 30 parti uguali, ciascuna delle quali corrisponde ad un millimetro di mercurio; così, stando la temperatura a 0°, se la colonna d'olio corrisponde, per esempio, a 740 o 750 della scala mobile esattamente messa in riscontro ed al suo posto, sn ne conchiude esser la pressione atmosferica di 730 o 750 millimetri di mercurio. Rimanendo sempre la temperatura a 0°, si produce sull'aria ambiente un eccesso di *pressione* di 30 millimetri; il vertice della colonna d'olio discende nel ramo chiuso, e segnasi 790 al punto ové s'arresta sulla scala mobile, lo spazio compreso tra 790 e 760 è alquanto minore di quello compreso tra 760 e 730, ma dividesi però, egualmente che quest'ultimo, in 30 parte eguali, ciascuna delle quali corrisponde ad un millimetro di mercurio.

In cotal modo lo strumento è *graduato per la temperatura zero*; vale a dire che esso è nello stato di dar le pressioni atmosferiche, tutte le volte che si trova alla temperatura 0°; e per fermo basterà perciò *mettere da prima in riscontro la scala mobile delle pressioni* con la scala termometrica, e legger quindi sulla prima la divisione corrispondente al vertice della colonna d'olio.

La sensibilità dello strumento dipende evidentemente dallo spazio che percorre il vertice della colonna d'olio per un cambiamento di pressione d'un millimetro; e questo spazio percorso x è dato della formola

$$x = \frac{\mp v}{\pi r^2 (1 \mp 760)}.$$

Il segno superiore corrisponde ad una diminuzione e l'inferiore ad un aumento di pressione; v è il volume dell'aria dello strumento, ed r il raggio del tubo. Si possono sceglier talmente v ed r da risultare il valore di x eguale a 2, 3 o 4 millimetri, vale a dire in modo tale che il simpiezometro sia due, tre o quattro volte più sensibile del barometro.

Quel che si è detto per la graduazione a zero, si applicherebbe egualmente a qualunque altra temperatura, per esempio, a quella delle cave dell'Osservatorio, e, in quest'ultimo caso, la graduazione sarebbe sufficiente, dovendo lo strumento conservar sempre la temperatura fissa della sua graduazione. Ma non è più lo stesso per uno strumento che dovesse andar soggetto a tutte le variazioni di temperatura dell'ambiante. Allora se vogliasi una sufficiente esattezza, è d'uopo ripeter la medesima graduazione per una seconda temperatura, come sarebbe a 15°, procedendo esattamente in quel modo che abbiamo indicato per la temperatura a 0°. Soltanto che, dopo avere riscontrato la scala mobile delle pressioni con la scala fissa delle temperature, in modo che il 760 di 15° cada sopra di essa in quello stesso punto ove cade il 760 della temperatura 0°, i numeri 740 e 790 de'15°, come è chiaro, andranno a cadere più lungi, dall'una parte e dall'altra di 760, è bisognerà, per conseguenza, scrivere cotesti numeri so-

pra un'altra linea verticale della scala mobile, scrivendo 15° sulla sommità di questa linea verticale, per indicare che essa corrisponde appunto a questa temperatura. Or se si congiungano i due punti 730 e gli altri due 790, si verrà a formare un trapezio, le cui basi saranno verticali, e sarà agevole scrivere, su i lati obbliqui di lui le temperature comprese tra 0° e 15°; e, prolungando questi lati, si potrà estendere facilmente la graduazione alle temperature più basse di 0° e più alte di 15°.

I simpiezometri, costruiti e graduati con diligenza, posson riuscire, ne' viaggi, e soprattutto per la marina, assai più vantaggiosi del barometro, le cui operazioni sulla neve presentano sempre grandi difficoltà; è da desiderarsi che cotesti strumenti vengano stabiliti negli osservatorii eziandio, perchè se ne possa seguire l' andamento in confronto a quello del barometro.

CAPO II.

DELLA DENSITA' DE' GAS, DE' LIQUIDI, E DE' SOLIDI.

132. Noi abbiamo veduto (46) che la ragione delle densità di due corpi è la stessa di quella de' loro pesi specifici, e che è uguale alla ragion diretta de'pesi di questi corpi moltiplicata per la inversa de'loro volumi. Laonde la ricerca sperimentale delle densità diviene più semplice quando si può operare sopra volumi eguali o sopra eguali pesi: nel primo caso le densità sono tra loro come i pesi, e tutta l'operazione si riduce a pesare; nel secondo caso esse sono in ragione inversa de' volumi, e l'operazione riducesi alla perfetta misura de' volumi, la quale per certi corpi si può molto agevolmente eseguire. Si sogliono paragonare tutte le densità a quella dell' acqua distillata; perchè l' acqua si trova dovunque e puossi facilmente averla pura; frattanto la densità de'gas e de' vapori si paragona da prima con quella dell'aria atmosferica, e poi col calcolo si riduce alla unità comune, cioè alla densità dell'acqua. Indicheremo l'un dopo l'altro i metodi seguiti per la determinazione delle densità de' gas; de' liquidi e de' solidi.

133. *Densità de' gas.*—Per conoscere le densità de' gas, si prende un grosso globo di vetro la cui capacità sia di 6 o 7 litri (*fig.* 225, tav. 9), il quale si pesa dopo di averne estratta l'aria, e si ripesa dopo di averlo pieno successivamente di aria secca e del gas di cui si vuol conoscere la densità. Se fosse possibile di fare il vuoto perfetto e di operare precisamente alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione in tutti e tre i casi, si avrebbe facilmente la densità del gas per rispetto all'aria. E per fermo esprimendo con p_1, p, p' i risultamenti della 1ª, della 2ª e della 3ª pesata, con c il peso dell'aria contenuta nel globo; con c' il peso del gas e con d il peso dell'aria spostata nelle tre esperienze, peso che sarebbe sempre lo stesso perocchè supponesi che l' aria esterna sia alla stessa temperatura, sotto la stessa pressione e nelle stesse condizioni igrometriche, si avrà

1ª esp. p_1+d, peso assoluto del globo
2ª esp. $p+d-c$; *id.*
3ª esp. $p'+d-c'$; *id.*

imperciocchè il peso della materia del globo è eguale al *peso apparente* dato dalla pesata, *più* il peso perduto nell' aria, *meno* il peso di ciocchè può essere contenuto nel globo. Or i valori di questi tre pesi della materia del globo essendo tra loro eguali, ne segue

$$c=p-p_1;\ c'=p'-p;\ \text{e}\ \frac{c'}{c}=\frac{p'-p_1}{p-p_1};$$

per la ragione de' pesi del gas e dell'aria, e quindi per la ragione delle densità, perocchè i volumi sono eguali.

Ma l'esperienza non può aver mai questo grado di semplicità, sia perchè è impossibile di fare il vuoto perfettamente, sia perchè è raro il caso in cui l'operazione si compia, senza che intervenga alcun cangiamento nella pressione o nella temperatura. Noi additeremo il modo da tenere nelle varie congiunture; facendo osservare che si può sempre disporre l'apparecchio in guisa, che la pesata del globo pieno succeda immediatamente a quella del globo vuoto, ed accada in conseguenza nello stesso ambiente tanto per temperatura, quanto per pressione. Allora si fa per l'aria e per ogni gas una pesata pel globo vuoto un' altra pel globo pieno.

Pesata del globo vuoto.

t, temperarura dell' ambiente e del globo.
h, altezza del barometro.
d, peso dell' aria spostata.
h_1, pressione dell' aria che rimane nel globo.
c_1, peso *id.*
p_1, peso apparente del globo dato dall' esperienza.

Pel peso assoluto della materia del globo si ha, p_1+d-c_1.

Pesata del globo pieno di aria asciutta.

t, temperatura dell' ambiente e del globo.

h, altezza del barometro.
d, peso dell'aria spostata.
h, pressione dell'aria del globo; questa è la pressione atmosferica.
c, peso dell'aria che riempie il globo.
p, peso apparente dato dall'esperienza.
Onde il peso assoluto della materia del globo risulta

$$p+d-c;$$

e quindi

$$p_1+d-c_1=p+d-c,\ \text{d'onde}\ c-c_1=p-p_1$$

I pesi c e c_1, dell'aria sono d'altronde tra loro come la pressione h ed h_1, d'onde

$$c_1=\frac{ch_1}{h},$$

e per conseguenza $c=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$.

Sia ora x il peso di 1 centimetro cubico di aria a 0, sotto la pressione di 76 centimetri, ed n il numero di centimetri cubici che esprime la capacità del globo alla temperatura zero; allora nx dinoterà il peso dell'aria che sarebbe contenuta dal globo alla temperatura zero e sotto la pressione di 76 centimetri. Egli è agevole il ricavarne il peso dell'aria contenuta nel globo nelle condizioni dell'esperienza, cioè alla temperatura t e sotto la pressione h.

E per fermo, passando dalla pressione di 76 alla pressione h, il peso x di un centimetro cubico diventa

$$\frac{hx}{76},$$

e passando da 0 alla temperatura t, esso diventerà

$$\frac{hx}{76(1+at)}.$$

D'altronde a questa temperatura il globo non contiene più solamente n centimetri cubici, perocchè per la dilatazione del vetro ne deve contenere $n(1+kt)$; e moltiplicando questo volume pel peso di ogni centimetro cubico, si avrà finalmente

$$n(1+kt)\frac{xh}{76(1+at)},$$

per lo peso totale dell'aria contenuta nel globo, alla temperatura t e sotto la pressione h. Questo peso è quello che abbiamo espresso con c, e che poco innanzi abbiamo trovato eguale ad $\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$; ponendo questa eguaglianza se ne deduce finalmente

$$nx=76\frac{p-p_1}{h-h_1}\cdot\frac{1+at}{1+kt}.$$

Procedendo parimente con un altro gas, ad una temperatura t', sotto una pressione h', si sarebbero trovati dei pesi apparenti p_1' e p', e dinotando con x' il peso di 1 centimetro cubico di questo gas a 0°, sotto la pressione di 76c., si avrebbe pure

$$nx'=76\frac{p_1-p'_1}{h'-h'_1}\cdot\frac{1+at'}{1+kt'}.$$

Or la densità di questo gas rispetto all'aria è eguale alla ragione $\frac{x'}{x}$ de' pesi del centimetro cubico di questo gas e del centimetro cubico d'aria, entrambi a zero e sotto la pressione di 76c. Si avrà dunque finalmente per la ragione delle densità

$$\frac{x'}{x}=\frac{p'-p'_1}{p-p_1}\cdot\frac{1+at}{1+at'}\cdot\frac{h-h_1}{h'-h'_1}\cdot\frac{1+kt}{1+kt'};$$

espressione la quale contiene solo i dati dell'esperienza.

Questa formola generale si è avuta, ponendo che i pesi x ed x' di un centimetro cubico di aria e di gas a zero e sotto la pressione 76c diventino

$$\frac{hx}{760(1+at)},\ \text{ed}\ \frac{hx'}{760(1+at)}$$

conforme alla legge di Mariotte ed alla costanza del coefficiente di dilatazione. In questo caso la ragione delle densità è costante, a tutte le temperature e sotto tutte le pressioni, imperciocchè la ragione dei pesi di 1cc è sempre $\frac{x'}{x}$. Ma è agevole l'intendere che, quando la legge di Mariotte finisce di esser vera, la precedente espressione finisce di esser giusta; intanto entro i limiti ne'quali la legge di Mariotte è vera, si può sempre adoperarla, purchè pel gas vi si ponga il coefficiente di dilatazione che gli appartiene, e che può esser diverso da quello dell'aria; se non che la ragione delle densità in questo caso varia con le temperature: essa è $\frac{x'}{x}$ a 0 ed $\frac{x'(1+at)}{x(1+a't)}$ alla temperatura di t°, esprimendo con a' il coefficiente di dilatazione del gas.

Con questo metodo abbiam determinato le densità de' diversi gas per rispetto all'aria; esso domanda alcune delicate avvertenze: è

mestieri usare gas purissimi e molto secchi, osservare con diligenza le temperature e le pressioni, ed operare in un ambiente secco, affinchè non s' abbia a temere da quel velo di umido che si genera sulle pareti del globo. Del resto non ci deve far maraviglia se, per certi gas e per certi globi, s' abbiano de' falsi risultamenti, a cagione del condensamento che questi gas soffrono in contatto di varie sostanze.

133 *bis*. *Peso di un litro d' aria. — Composizione dell' aria atmosferica.* Dopo di aver riferita la densità de' varî gas a quella dell' aria atmosferica, conviene trovare la densità dell' aria per rispetto all' acqua; egli è questo un dato importante di cui si ha continuamente bisogno. A ciò si perviene col metodo antecedente, ma bisogna avere bilance forti e sensibili, per pesare con precisione il globo della densità de' gas, quando è pieno di acqua distillata.

Supponiamo infatti che, con esperienze analoghe a quelle innanzi descritte, siasi per molte volte determinato nx, ossia il peso dell' aria che il globo potrebbe contenere alla temperatura zero e sotto la pressione di 76^c; cotesti valori pochissimo potranno tra loro differire; se ne prenda la media che rappresenteremo con r e si avrà

$$nx = r.$$

Conosciuto una volta con sufficiente esattezza il valore di x, non si deve fare altro che determinare la capacità del globo, ossia il numero n di centimetri cubici ch' esso contiene a zero. Per la qual cosa si fanno anche ora, siccome poco innanzi dicemmo, due pesate nelle stesse condizioni di temperatura e pressione per l' aria dell' ambiente: la prima volta col globo pieno di aria secca, e la seconda volta col globo pieno di acqua distillata. Sia θ la temperatura, h la pressione, d il peso dell' aria spostata, π e π' i risultamenti della prima e della seconda pesata, u il peso dell' aria che riempie il globo per la prima, ed u' il peso dell' acqua che lo riempie per la seconda, si avrà:

Per la prima esperienza $\pi + d - u$, peso assoluto della materia del globo.

Per la seconda esperienza $\pi' + d - u'$; *id.*

Perciò

$$u' = \pi' - \pi + u.$$

Ma, r essendo il peso dell' aria contenuta nel globo alla temperatura zero e sotto la pressione di 76, egli è agevole il vedere che alla temperatura θ e sotto la pressione h il peso u dell' aria che riempie il pallone sarà

$$u = r \frac{h}{760} \cdot \frac{1 + k\theta}{1 + a\theta}.$$

Sostituendo questo valore, u' sarà conosciuto. Ora al massimo di densità, 1$^{gr.}$ di acqua occupa 1^c; ed alla temperatura θ essa avrà un volume $1 + \delta$, δ essendo data dalle tavole di dilatazione dell' acqua, onde il peso u' dell' acqua corrisponde ad un numero di centimetri cubici eguale ad $u'(1 + \delta)$. Questa è la capacità del globo alla temperatura θ. D' altra banda questa capacità è eziandio $n(1 + k\theta)$; quindi ne segue

$$n = \frac{u'(1 + \delta)}{1 + k\theta}.$$

Sostituendo questo valore di n nell' equazione primitiva $nx = r$, si avrà finalmente

$$x = \frac{r(1 + k\theta)}{u'(1 + \delta)},$$

per lo peso di un centimetro cubico di aria secca alla temperatura 0 e sotto la pressione di 76.

Arago e Biot nel 1805 trovarono il peso di

$$0^{gr.},00129954.$$

Per cui un litro d' aria pesa 1$^{gr.}$ 29954.

Cotesti risultamenti sarebbero poco modificati, se le correzioni si facessero prendendo per le dilatazioni dell' acqua e dell' aria i numeri oggi adoperati.

Siccome la legge di Mariotte si applica all' aria, ne segue che, salvo i cangiamenti che il coefficiente di dilatazione può soffrire, tanto per la pressione quanto per la temperatura, il peso di 1 litro di aria, alla pressione h ed alla temperatura t, è espresso da

$$1^{g},29854 \frac{h}{76(1 + at)}.$$

Secondo Dumas e Boussingault, l' aria è composta

in peso		in volume	
23,01	ossigeno	20,81	ossigeno
76,09	azoto	79,19	azoto
100,00		100,00	

La composizione in peso è il risultamento diretto dell' esperienza; la composizione in volumi se ne ricava mercè la densità dell' ossigeno e dell' azoto. Le nuove sperienze di Dumas e Boussingault danno per la densità dell' ossigeno 1,1057, e per quella dell' azoto 0,9720.

Quando la densità di un gas per rispetto all' aria è conosciuta, egli è agevole il ricavarne il suo peso specifico, ossia il peso di un litro a 0 di temperatura e 76 di pressione. 1 litro di aria pesando 1gr., 29954, un litro di gas di densità d peserà $d \times 1,29954$; in tal modo si è formata la quarta colonna della tavola generale della pagina 148.

133 *ter. Densità de' gas composti.*—In tutte le combinazioni binarie v' ha una essenziale attenenza tra le densità de' componenti e quella del composto. Dinotiamo con d e d' le densità de' due gas che si combinano, per rispetto all' aria, e con n ed n' i numeri di volumi del primo e del secondo che entrano nella combinazione. Sia ν il volume del composto e Δ la sua densità per rispetto all' aria. Prendendo per unità il peso dell' unità di volume d' aria, il peso del composto sarà evidentemente $nd+n'd'$, e poichè il suo volume è ν, si avrà

$$\Delta=\frac{nd+n'd'}{\nu}.$$

Secondo la bella legge di Gay-Lussac i volumi n ed n' sono sempre tra loro in ragione semplice, e di più il volume ν del composto serba eziandio sempre una ragione semplice con n ed n'. Esempj:

Protossido di azoto. Ossigeno, $n=1$; azoto $n'=2$;

Protossido di azoto, $\nu=2$. D'onde si ricava

$$\Delta=\frac{d}{2}+d'=0,5523+0,972=1,5243.$$

Biossido di azoto, Ossigeno, $n=1$; azoto, $n'=1$; biossido $\nu=2$,

$$\Delta=\frac{d+d'}{2}=\frac{1,1057+0,972}{2}=\frac{2,0777}{2}$$

$$=1,0388.$$

Acqua. Ossigeno $n=1$; idrogeno, $n'=2$; vapore acqueo, $\nu=2$.

$$\Delta=\frac{2}{d}+d'=0,2523+0,0691=0,6214.$$

In questo caso non si trova il valore di ν se non prendendo il vapore dell' acqua; e siccome l' esperienza dà un numero prossimo a 0,6214, così se ne conclude $\nu=2$, imperciocchè, secondo la legge di Gay-Lussac, ν non può essere eguale a 2 più o meno una piccola frazione.

E per contro, quando il composto è tale che si possa trovare ν e Δ, se ne potrà ricavare nd o $n'd'$.

Acido carbonico. Ossigeno, $n=1$; acido carbonico, $\nu=1$, $\Delta=1,5245$.

Se ne ricava pel carbonio

$$n'd'=\nu\Delta-nd=1,5245-1,1057=0,4188.$$

Ora, per avere d' converrà sapere n' e vice versa. Ma solo per mezzo di alcune incerte analogie di composizione si può giungere ad un valore per n'. Cotesta legge, tanto feconda ed importante, può solo condurre a presunzioni più o meno fondate intorno alla densità de' vapori de' corpi solidi. Ciocchè abbiamo detto pe' composti binari di due elementi si applica del pari a' composti ternari ed a' composti de' composti; le densità per tal modo ottenute trovansi nella terza colonna della tavola generale.

FLUIDI ELASTICI	Densità determinate per esperienza	Densità Calcolate	Peso di 1 litro a 0° e 760mm di pressione	NOMI DEGLI OSSERVATORI
Aria	1,0000	»	1,2991	
Gas idrogeno	0,0688	»	0,0894	Berzel. e Dulong.
Id.	0,0691	»	0,0898	Boussing. e Dum.
Vapore di carbonio. . . .	»	0,4220	0,5482	»
Gas idrogeno protocarburato.	»	0,5596	0,7270	Thomson
» ammoniacale.	0,5967	0,5910	0,7752	Biot ed Arago
Vapore aqueo	0,6235	0,6200	0,8100	Gay-Lussac
Gas idrog. protofosforato . .	0,8700	»	»	H. Davy.
» idrog. perfosforato. . .	0,9022	»	»	Thomson.
Vapori di acido idrocianico .	0,9476	0,9442	1,2310	Gay-Lussac.
Gas ossido di carbonio . .	0,9569	0,9732	1,2431	Cruikshancks.
» azoto	0,9757	»	1,2675	Berzel. e Dulong.
id.	0,9720	»	1,2627	Bossing. e Dum.
» idrogeno bicarburato . .	»	0,9816	1,2752	Thomson.
» deutossido di azoto . .	1,0388	1,0390	1,3495	Berard.
» ossigeno	1,1026	»	1,4323	Berzel. e Dulong.
» id.	1,1057	»	1,4364	Bossing. e Dum.
» idrosolforico.	1,1912	»	1,5475	Gay e Thenard.
» idroclorico	1,2474	1,2474	1,6205	Biot ed Arago.
» acido carbonico. . . .	1,5245	»	1,9805	Berzel. e Dulong.
» protossido di azoto . .	1,5269	1,5269	1,9752	Colin.
Vapori di alcool assoluto. .	1,6133	1,6016	2,0958	Gay-Lussac.
Gas cianogeno	1,8064	1,8197	2,3467	Id.
Vapori di acido clorocianico.	»	2,1228	2,7577	Id.
Gas solforoso	2,2930	»	2 8489	H. Davy.
Vapori d'etere idroclorico .	2.2190	2 2290	2,8827	Thenard.
» d'acido fluoborico . . .	2,3120	2.3070	»	Gay-Lussac.
Gas deutossido di cloro . .	2, »	2,3155	3,0081	J. Davy.
» cloro	2 4216	2,4260	3,2088	Gay. e Thenard.
Vapore di etere solforico. .	2.5860	2,5830	3,3950	Gay-Lursac.
» d'idrogeno arsenicato . .	2,6950	2,6950	3,5020	Dumas.
» nitroso	»	3,1800	4,1320	Colin e Robiq.
Gas clorossicarbonico . . .	»	3.3990	4,4156	J. Davy.
Vapori d'idro-bicarbonato di cloro	3.4430	3,4080	4,4730	
» di acido fluorico silicato.	3.6000	3.5970	»	Dumas.
» di cloruro di boro. . .	3,9420	4,0790	5,1210	Id.
Gas idroiodico	4,4288	4,3399	5,7719	Gay-Lussac.
Vapori di protoclor. di fosf.	4,8750	4,8080	6,3530	Dumas.
» di essenza di terebantina.	5,0130	4,2110	6,5120	Gay-Lussac.
» d'etere idroiodico . . .	5,4750	»	7,1120	Id.
» di cloruro di silicio . .	5,9390	5,9600	7,7150	Dumas.
» di protocloruro di arsenico.	6,3010	6.2970	8,1850	Id.
» di percloruro di titanio .	6,8560	7,0470	8,8810	Id.
» di mercurio	6,9760	6,9780	9,0620	Id.
» di iodo	8,7160	8,6120	11,3230	Id.
di percloruro di stagno . .	9,2000	8,9930	11,0510	Id.

134. *Densità dell' acqua distillata.*—Tutt' i corpi variano continuamente di volume per l'azione del calorico; e però variano anche di densità. Ma l'acqua presenta una notevole eccezione alla legge di coteste variazioni: se essa stia a 0 e s'incominci a riscaldarla, si restringe invece di dilatarsi, e tal restringimento continua fino alla temperatura di circa 4°; ma da questo punto comincia a dilatarsi col crescere delle temperature, siccome agli altri cor-

pi suole avvenire, e dilatasi fino a che giunga al punto dell' ebollizione. L' acqua dunque verso la temperatura di 4° soffre il massimo restringimento. Questo fenomeno è assai spiccato allorchè si osserva sopra un termometro ad acqua, nel quale ogni grado occupi grande estensione. Cotesto termometro si abbasserà come quello a mercurio, allorchè siano entrambi immersi in un bagno liquido, il quale abbia per esempio la temperatura di 10°, e si faccia lentamente raffreddare ; ma nell'avvicinarsi al 4° grado, se il raffreddamento continua, il termometro a mercurio continuerà ad abbassarsi, e quello ad acqua, quasi fosse riscaldato, si vedrà montar su fino al punto della congelazione. Spingendo un poco più oltre il raffreddamento, l' acqua nel termometro si gelerà crescendo tosto considerabilmente di volume ; si può dunque supporre che giunta l' acqua alla temperatura di 4° le molecole liquide comincino l' una dall' altra ad allontanarsi, ed a prepararsi in un certo modo a prendere quelle rispettive posizioni che aver debbono nel passare allo stato solido. Lo strumento rappresentato dalla fig. 227 tav.9, può servire anch'esso a mostrare cotesto fenomeno, imperocchè i termometri che sono al di sotto della cintura di diaccio segnano 4°, mentre quelli che sono al di sopra segnano 0°. L'acqua che contiene dei sali o altre sostanze straniere in dissoluzione, pare che abbia, almeno in certi casi, anche la proprietà di un massimo e di un minimo di contrazione, ma ad una più bassa temperatura, essendo anche più basso il punto di congelazione.

Questi fenomeni sembrano a prima giunta eccezioni fortuite e di lieve importanza, ma poi vedremo appresso aver essi una grande importanza nella distribuzione del calorico ne' mari e nella terra ferma. Per tal ragione nelle alte latitudini i fiumi, i laghi, i mari possono tenersi liquidi ad una certa profondità ; gli animali che abitano nell' acqua posson vivere in tutte le stagioni e perpetuarsi ; e si ha finalmente una circolazione di calorico tra i poli e l'equatore ad una temperatura media, la quale modera quella di tutt' i climi.

Il punto preciso del massimo di contrazione e le varie densità dell' acqua alle diverse temperature corrispondenti, sono state l' obbietto di non poche ricerche.

Nella seguente tabella si troveranno i risultamenti ottenuti da Despretz, col metodo dei termometri, osservando cioè dei termometri ad acqua, che gradatamente si raffreddavano o si riscaldavano nelle vicinanze del vetro. Dalla discussione di tutte le sue sperienze relativa al massimo di densità egli ricava 3°,997 cioè quasi 4°. Cotesti risultamenti si estendono da—9° fino a 100°.

Densità e volumi dell' acqua secondo Despretz

Temperature	Volumi	Densità
—9	1,0016311	0,998371
—8	1,0013734	0,998628
—7	1,0011354	0,998865
—6	1,0009184	0,999082
—5	1,0006987	0,999302
—4	1,0005619	0,999437
—3	1,0004222	0,999577
—2	1,0003077	0,999692
—1	1,0002138	0,999786
—0	1,0001269	0,999873
1	1,0000730	0,999927
2	1,0000331	0,999966
3	1,0000083	0,999999
4	1,0000000	1,000000
5	1,0000082	0,999999
6	1,0000309	0,999969
7	1,0000708	0,999929
8	1,0001216	0,999878
9	1,0001879	0,999812
10	1,0002684	0,999731
11	1,0003598	0,999640
12	1,0004724	0,999527
13	1,0005862	0,999414
14	1,0007146	0,999285
15	1,0008751	0,999125
16	1,0010215	0,998979
17	1,0012067	0,998794
18	1,00139	0,998612
19	1,00158	0,998422
20	1,00179	0,998213
21	1,00200	0,998004
22	1,00222	0,997784
23	1,00244	0,997566
24	1,00271	0,997297
25	1,00293	0,997078
26	1,00321	0,996800
27	1,00345	0,996562
28	1,00374	0,996274
29	1,00403	0,995986
30	1,00433	0,995688
31	1,00463	0,995391

Temperature	Volumi	Densità
32	1,00494	0,995084
33	1,00525	0,994777
34	1,00555	0,994480
35	1,00593	0,994104
36	1,00624	0,993799
37	1,00661	0,993433
38	1,00699	0,993058
39	1,00734	0,992713
40	1,00773	0,992329
41	1,00812	0,991945
42	1,00853	0,991542
43	1,00894	0,991139
44	1,00938	0,990707
45	1,00985	0,990246
46	1,01020	0,989903
47	1,01067	0,989442
48	1,01109	0,989032
49	1,01157	0,988562
50	1,01205	0,988093
51	1,01248	0,987674
52	1,01297	0,987196
53	1,01345	0,986728
54	1,01395	0,986243
55	1,01445	0,985756
56	1,01495	0,985270
57	1,01547	0,984766
58	1,01597	0,984281
59	1,01647	0,983798
60	1,01698	0,983303
61	1,01752	0,982782
62	1,01809	0,982231
63	1,01862	0,981720
64	1,01913	0,981229
65	1,01967	0,980709
66	1,02025	0,980152
67	1,02085	0,979576
68	1,02144	0,979010
69	1,02200	0,978473
70	1,02255	0,977947
71	1,02315	0,977337
72	1,02375	0,976800
73	1,02440	0,976181
74	1,02499	0,975619
75	1,02562	0,975018
76	1,02631	0,974364
77	1,02694	0,973766
78	1,02761	0,973132
79	1,02823	0,972545
80	1,02885	0,971959
81	1,02954	0,971307
82	1,03022	0,970666
83	1,03090	0,970027
84	1,03156	0,969405
85	1,03225	0,968757
86	1,03293	0,968120
87	1,03361	0,967482
88	1,03430	0,966837
89	1,03500	0,966183
90	1,03566	0,965567
91	1,03639	0,964887
92	1,03710	0,964227
93	1,03782	0,963558
94	1,03852	0,962908
95	1,03925	0,962232
96	1,03999	0,961547
97	1,04077	0,960827
98	1,04153	0,960125
99	1,04228	0,959434
100	1,04315	0,958634

134 bis. ***Massimo di densità dell' acqua di mare e di varie soluzioni saline.*** — Egli era importante di sapere se l'acqua di mare avesse anche un massimo di densità, ed a quale temperatura corrispondesse. Parecchi fisici aveano fatto delle ricerche sul proposito, ma il Despretz ripigliando questa quistione l'ha trattata in modo compiuto, confermando i risultamenti cui è pervenuto con altri non meno importanti, che gli si sono offerti dalle dissoluzioni di varj sali a diversi gradi di saturazione. Abbiamo riunito tutti questi risultamenti nella seguente tavola, con alcune giunte che l'autore si è compiaciuto di comunicarmi, le quali non si trovano nella memoria pubblicata per le stampe.

Sostanze	Densità	Peso della sostanza sopra 997,45 d' acqua	Massimo	Punto di congelazione	Temperatura durante la congelazione
Acqua di mare .	1,027 a 20°	»	— 3°,67	— 2°,55	— 1°,88
Cloruro di sodio .	1,009 a 6	12,346	+ 1.19	— 1,21	0,71
Id	1,018 » 6,26	24.692	— 1,69	— 2,24	1,41
Id	1,027 » 6,60	37,039	— 4,75	— 2,77	2,42
Id	»	74,078	— 16,00	— 4,30	»
Cloruro di calcio.	1,005 » »	6,173	+ 3,24	— 0.38	— 0,22
Id	1,010	12 346	+ 2.05	— 0,53	— 0,53
Id	1,020	24,692	+ 0,06	— 1,12	— 1,03
Id	1,031	37 039	— 2,43	— 3,92	— 1,61
Id	1,060	74.078	— 10,43	— 5,28	— 3,56
Solfato di potassa.	1,005	6,173	+ 2,92	— 0,15	— 0,15
Id	1,010	12,346	+ 1,91	— 0,27	— 0,27
Id	1,020	24.692	— 0.10	— 0,56	— 0.56
Id	1,030	37,039	— 2,28	— 2,09	— 0,77
Id	1,058	74,078	— 8.37	— 4,08	— 1.50
Solfato di soda .	1,006	6,173	+ 2,52	— 0,27	— 0,17
Id	1,012	12,346	+ 1,15	— 1,14	— 0,33
Id	1,023	24,692	— 1,51	— 0,83	— 0,69
Id	1,034	37,039	— 4,33	— 2,39	— 1,10
Id	1,066	74,078	— 12,26	— 2,17	
Carbonato di po-					— 1,13
tassa	1,033	37,039	— 3,95	— 3,21	— 1,17
Id	1,064	74.078	— 12,41	— 2,25	— 2,25
Carbonato di soda	1,039	37.039	— 7,01	— 2,85	— 1,37
Id	1,075	74.078	— 17,30	— 2.20	— 2,02
Solfato di rame .	»	57,996	— 0.62	— 1,32	— 0,37
Potassa pura . .	1,032	37,039	— 5.64	— 2,10	— 2,03
Id	1,062	74.078	— 15,95	— 4,33	— 4,33
Alcool	0.988	74,078	+ 2,30	— 2,83	— 2,83
Acido solforico .	1,008	12,346	+ 0,60	— 0,47	— 0,47
Id	1,016	24.692	— 1,92	— 1,09	— 0,90
Id	1,024	37,039	— 5,02	— 1,34	— 1,34

135. *Densità de' liquidi.* — Il principio di Archimede serve di guida non solo per paragonare le densità dell'acqua, corrispondenti alle varie temperature, ma può del pari esser utile per trovar le densità di tutt' i liquidi. Se per esempio si voglia conoscere la densità dell' alcool per rispetto a quella dell' acqua, basterà prendere un corpo solido di questi liquidi più denso, e pesarlo successivamente in tre differenti guise :

Prima nell' aria,

Poi nell' acqua,

Finalmente nell' alcool.

La perdita di peso che questo corpo soffre nell' acqua è eguale al peso dell' acqua scacciata (§. 86), e la perdita di peso che soffre nell' alcool è del pari eguale al peso dell' alcool scacciato. Ora essendo la temperatura la stessa, saranno gli stessi anche i volumi de' liquidi scacciati : e però la ragione de' loro pesi sarà la stessa di quella delle loro densità. Quando si è pesato a diverse temperature, sarà facile ridurre per mezzo del calcolo i pesi a quel che sarebbero stati alla temperatura 0, purchè si sappia la legge di dilatazione del corpo immerso e quella di ciascuno dei liquidi.

La gravità specifica si può anche direttamente determinare, pesando eguali volumi di tutti questi corpi. E per venire a capo di tutto ciò con questo secondo metodo, si prende un fiasco di vetro sottile e leggiero (*fig.* 226, tav. 9), avente un turacciolo che lo chiude perfettamente : si pesa in prima solo, e poi pieno di liquido ; la differenza de' due pesi sarà il peso del liquido in esso contenuto.

Per esempio : Il fiasco solo pesa	160 gr.
Il fiasco pieno d' acqua a 0 pesa	200 gr.
Il peso dell' acqua contenuto nel fiasco sarà	100 gr.

Alla stessa temperatura di 0

Il fiasco solo pesa sempre	100
Lo stesso pieno d' alcool	179
Il peso dell'alcool contenuto nel fiasco sarà .	79

I volumi dell' acqua e dell'alcool essendo gli stessi, le densità di questi liquidi saranno tra loro come i pesi; dunque

La densità dell' alcool sarà	0,79

Quando la temperatura non è a 0, è mestieri correggere i risultamenti col por mente alla dilatazione del vetro del fiasco e dei liquidi sui quali si fa l' esperienza.

135. *Misura delle capacità per mezzo del peso.* — In molte ricerche è forza conoscere perfettamente la capacità dei vasi di varie forme ordinati alle sperienze, al che in due modi si perviene: 1° *pei volumi*, versando in cannelli graduati o vasi cilindrici il liquido ch'essi possono contenere; 2° *mercè il peso*, pesando cioè il vaso pieno di aria e poi pieno di un liquido di densità conosciuta.

Basta poca diligenza usando del primo metodo, ma è mestieri avere vasi graduati con precisione, ed inoltre conviene adoperare un liquido che non aderisca alle pareti, come sarebbe il mercurio. Allora conoscendo il coefficiente di dilatazione della materia onde il vase è formato, e di quell'altro graduato, non che il coefficiente di dilatazione del liquido, e conoscendo pure la temperatura alla quale il vase fu graduato, egli è agevole determinare la capacità dell' altro vase per la temperatura zero e per tutte le altre temperature.

Il secondo metodo non è così semplice, ma conduce a risultamenti più rigorosi, quando si adoperino le necessarie precauzioni. Prendiamo per esempio un globo: dopo di averlo bene asciutto di dentro e di fuori, si riempia di aria asciutta e si pesi aperto, notando la temperatura t e l' altezza barometrica h; sia p il peso apparente che si ottiene, d il peso dell'aria spostata e c il peso dell'aria che contiene, si avrà (133) per lo peso della materia del globo

$$p+d-c;$$

indi si riempia di un liquido, avendo cura di farne uscire interamente l'aria, e si pesi di nuovo, notando similmente la temperatura t e l' altezza barometrica h'; sia p' il peso apparente che si ottiene, d' il peso dell' aria spostata e c' il peso del liquido che lo stesso vase contiene, si avrà similmente per lo peso della materia,

$$p'+d'-c'$$

e quindi

$$p+d-c=p'+d'-c';\ c'=p'-p+d'-d+c.$$

Per evitare correzioni incerte sullo stato igrometrico dell' aria ambiente è mestieri non porre molto tempo fra una pesata e l' altra; allora i valori di h e di h', di t e di t' sono generalmente molto prossimi per cui si può prendere $d=d'$, ed il valore di c' si riduce a

$$c'=p'-p+c.$$

Siano per le condizioni dell' esperienza v' la capacità del globo in centimetri cubici, ϖ il peso specifico dell' aria, ϖ' quello del liquido, si avrà $c=v'\varpi$, $c'=v'\varpi'$, e quindi,

$$v'=\frac{p'-p}{\varpi'-\varpi}.$$

Esprimendo con v la capacità a 0, si avrà

$$v'=v\,(1+kt),\quad v=\frac{p'-p}{\varpi'-\varpi}\cdot\frac{1}{1+kt}.$$

Se il liquido adoperato fosse acqua si troverebbe ϖ' per mezzo della tavola delle dilatazioni dell' acqua, se invece il liquido adoperato fosse mercurio si avrebbe

$$\varpi'=\frac{13^{gr},598}{1+mt},$$

Essendo m il coefficiente di dilatazione del mercurio ossia 0,00018; il valore di ϖ poi è, siccome abbiamo veduto,

$$\varpi=0^{gr},0012995\,\frac{h}{76\,(1+at)}.$$

136. *Degli areometri.* — Gli areometri son de' galleggianti, per mezzo de' quali si conosce immediatamente la densità de'liquidi nei quali s' immergono.

Ve ne ha di due maniere, cioè di quelli a peso variabile e di quelli a volume variabile.

La fig. 230, tav. 9 rappresenta un *areometro a peso variabile:* v è il *volume* o *corpo* dello strumento, il quale suolsi fare di vetro o di metallo; l è la *zavorra*, cioè una piccola massa di mercurio o di piombo che si accomoda alla parte inferiore; t è l' asta, la quale uopo è che sia sottilissima; c finalmente è il *piattello* sul quale si debbon porre i pesi. Ponendo lo strumento nel liquido, si disporrà secondo le condizioni di equilibrio de' galleggianti: esso si terrà dritto, perciocchè il centro di gravità è trasportato verso la parte inferiore dal peso della zavorra, e s' immergerà tanto da eguagliare col suo peso quello del liquido scacciato; si aggiungeranno allora dei *pesi addizionali* sul piattello per *ridurre a livello* lo strumento, cioè per far sì che un

piccol segno *f*, fatto sull'asta, si riduca perfettamente a fior di acqua; e siccome ne' diversi liquidi diversi pesi son necessarî per far che l'areometro si riduca alla giacitura indicata, perciò quando è così fatto dicesi a peso variabile. Sia *p* il peso dello strumento, e si dicano *a* i pesi che conviene aggiungere perchè esso riducasi al punto di livello nell'acqua presa alla temperatura 0; esprimansi con *a'* i pesi che è mestieri aggiungere per ridurlo alla posizione medesima nell'alcool preso alla temperatura medesima: la densità dell'alcool sarà alla densità dell'acqua come $p+a'$ sta a $p+a$ (1).

Quanto più grande è il volume dell'areometro e quanto più piccola l'asta, tanto più sensibile suole questo riuscire.

Si comprende poi facilmente potersi evitare ogni calcolo, facendo per ogni strumento una tavola nella quale a fianco di ciascun peso addizionale *a'* si trovi notata la corrispondente gravità specifica del liquido.

L'*areometro a volume variabile* indicato dalla *fig.*229 tav. 9, ha generalmente un volume minore di quello a peso variabile; l'asta è un piccol tubo di vetro; il corpo dello strumento è un cilindro ovvero una bolla soffiata all'estremo del tubo; la zavorra poi si pone nella piccola appendice di vetro che va messa sotto l'anzidetta bolla; una strisciolina di carta è incollata con molta diligenza nell'interno dell'asta, e sopra di essa son segnate le divisioni che indicano la densità. Il peso di questo areometro essendo sempre lo stesso, dovranno le densità de' liquidi nei quali s'immerge essere fra loro in ragion reciproca delle porzioni immerse. Partendo da questo principio si fa la graduazione dello strumento, scrivendo sulla strisciolina di carta, la quale serve di scala, i numeri che esprimono le densità de' liquidi. Così se l'areometro s'immerge fino al numero 1200 la densità sarà 1200, se fino a 900 la densità sarà 900, ec., essendo la densità dell'acqua espressa per 1000.

I pesa-liquori sono maniere di areometri, i quali son graduati non già per far conoscere le gravità specifiche dei liquori ne' quali s'immergono, ma sì bene per far conoscere il grado di lor concentrazione. Gli acidi sono più o meno *allungati*, le soluzioni saline sono più o meno *saturate*, l'acquavite e gli spiriti sono più o meno *abbondanti di alcool*, e però si fanno de' *pesa-acidi*, de' *pesa-sali*, de' *pesa-spiriti*, de' *pesa-sciroppi*, ec. per ravvisare immediatamente i diversi stati ne' quali questi liquidi sogliono presentare.

Pesa-acidi ossia *areometro di Beaumè*—Cotesto areometro è molto simile a quello a volume variabile, ma molto ne differisce nella graduazione. Nel punto ove esso fermasi nell'acqua pura sta segnato lo zero; sta poi segnato il numero 15 nel punto ove fermasi quando è immerso nel mescuglio di 85 parti di acqua e 15 di sale comune: l'intervallo che passa tra questi punti si divide in 15 parti, e le divisioni si seguitano al di sotto. Due soluzioni diversamente saturate segneranno certamente gradi diversi sull'areometro, ma sarà mestieri fare una tavola speciale per poter conoscere le densità per mezzo dei gradi di questo strumento.

I *pesa-sali* o *pesa-spiriti* son graduati con analoghi principî: essi dunque sono, come il *pesa-acidi*, strumenti di commercio, anzicchè di fisica, purchè non siasi formata una tavola delle proporzioni di sale o di spirito corrispondenti a ciascun grado.

L' alcoometro centesimale del Gay-Lussac è fondato sopra altri principî. In un dato spirito o acquavite basterà immergervi l'alcoometro per poterne in un sol momento conoscere la forza, l'abbondanza dell'alcool, la densità. Cotesto strumento, utile per la finanza e per lo commercio, è stato fatto in conseguenza di alcune ricerche preziosissime per la scienza; la sua utilità, dalla esperienza comprovata, è stata sanzionata con una legge. Per formarsene una giusta idea convien consultar l'*Istruzione* per l'uso dell'alcoometro centesimale, pubblicata dal Gay-Lussac nel 1824.

137. *Densità de' corpi solidi.*—La densità dei solidi si determina come quella de' liquidi per tre procedimenti diversi, cioè per mezzo dell'areometro, della boccetta turata, e della bilancia idrostatica.

L'areometro del quale si fa uso per determinare le densità dei solidi, è un areometro a volume costante il quale si chiama areometro di *Fahrenheit*, areometro di *Nicholson* e areometro-bilancia di *Charles*, secondo alcune lievi modificazioni nella disposizione delle parti.

(1) Dovendo un solido galleggiante immergersi tanto meno in un liquido per quanto questo è più denso siccome nel supplimento 6° fu notato, è chiaro maggiori pesi esser necessarî per ridurre l'areometro al punto di livello nel fluido più denso, minori nel meno denso, e però le gravità specifiche di due liquidi serbar la ragione de' pesi.

La *fig.* 230, tav. 9 rappresenta l'areometro di Charles. Tra il corpo v dello strumento e la zavorra l va posto un piccol paniere o secchia d'argento destinato a ricevere i frammenti di quella materia della quale si vuol conoscere la densità. Quando i corpi son dell'acqua specificamente più gravi, debbono esercitare una pressione di sopra in sotto, ed il paniere è sospeso per lo manico acciocchè possa ricevere cotesta pressione: quando poi i corpi son dell'acqua specificamente men gravi, è forza che esercitino una pressione di sotto in sopra, per il che in questo caso è mestieri che il paniere sia sospeso dalla parte del fondo per poter sostenere quest'altra pressione.

Affin di poter rinvenire con questo mezzo una densità, uopo è innanzi tratto conoscere il *peso addizionale* che si deve porre sul piattello, per ridurre lo strumento al punto di livello nell'acqua distillata, cioè per farlo immergere fino al punto f segnato nell'asta. Supponiamo che alla temperatura 0 il peso addizionale sia di 25 grammi, e con questo dato cerchiamo la densità di un corpo qualunque, come per esempio di un diamante. Si pone il diamante solo sul piattello, e vi si aggiungono successivamente de'pesi affin di menare lo strumento al punto di livello; supponiamo che sia mestieri aggiungere 23gr., 8; questo peso unito a quello del diamante equivalgono a 25 grammi, essendosi lo strumento ridotto al punto di livello. Il diamante dunque pesa 25gr. — 23,8 ossia 1gr. 2; tale è il suo peso nell'aria. Allora si pone il diamante nel paniere, ed ai 23gr., 8 che son rimasti sul piattello si aggiunga quel che è necessario per riavere il punto di livello; e siccome bastano per questo 0gr., 34, si conchiude 0gr., 34 essere il peso che il diamante perde nell'acqua, e per conseguenza il peso dell'acqua che scaccia, o il peso di un volume d'acqua eguale al suo. Ma quando i volumi sono eguali le densità sono come i pesi, dunque la densità del diamante è $\frac{120}{34}$ ovvero 3,53.

Pe' corpi specificamente più leggieri dell'acqua il procedimento è lo stesso, con la sola differenza che si deve capovolgere il paniere sospendendolo dalla parte del fondo; nè i ragionamenti dovranno essere in alcun modo variati. Se la temperatura non è a 0, si fanno le correzioni.

La boccetta turata che serve per conoscere le densità contiene 2 o 3 decelitri d'acqua (*fig.* 228, tav. 9). La giustezza dell'esperienza in gran parte dipende dalla diligenza con la quale il turaccio è lavorato: uopo è che sia dolcemente conico, ben lavorato allo smeriglio, e perfettamente circolare in tutto il suo contorno, affinchè ne entri in ogni giacitura sempre la stessa quantità. Allora si procede nel modo seguente: si pesa tre volte, la prima per avere il peso p del solido del quale si cerca la densità: la seconda per avere il peso $f+p$ della boccetta piena di acqua e del solido posto con esso nello stesso bacino; la terza per avere il peso f' della boccetta e del solido posto dentro di essa, il quale perciò ha dovuto cacciarne un volume d'acqua eguale al suo. Il terzo peso sottratto dal secondo, cioè $f+p-f'$, dà il peso del volume d'acqua scacciato; e poichè, quando i volumi sono eguali, le densità sono fra loro come i pesi, perciò la densità del corpo è $\frac{p}{f+p-f'}$. Se la temperatura non sia a 0, sarà mestieri fare le convenienti correzioni. Questo metodo può essere adoperato quando si tratti di piccole masse, o che le gravità specifiche sian maggiori o minori di quella dell'acqua.

I corpi solubili nell'acqua si pesano nell'alcool, nel mercurio, e in un altro liquido di conosciuta densità.

È difficile di conoscere con precisione la gravità specifica di quei corpi, i quali essendo porosi assorbono l'acqua, variando di densità in ragione dell'acqua assorbita.

La bilancia della quale ci siamo giovati per dimostrare il principio di Archimede può essere anche adoperata per conoscere le densità de' solidi. Volendosene servire per quest'uso, non v'ha bisogno di alcuna modificazione. L'operazione riducesi a pesar due volte, la prima per trovare il peso p del corpo, la seconda per conoscere la perdita di peso e che esso soffre nell'acqua, e questo peso perduto è il peso del volume di acqua scacciato: la gravità specifica dunque sarà $\frac{e}{p}$. Le solite correzioni dovranno esser fatte nel caso che la temperatura non sia a 0.

Abbiamo nella seguente tavola riunite le gravità specifiche meglio assicurate, e delle quali si ha più spesso bisogno: esse sonosi per l'uno o per l'altro de' precedenti metodi determinate.

Tavola delle gravità specifiche de' corpi solidi presi alla temperatura 0 ; e riferite alla densità dell' acqua presa per unità.

Platino battuto a freddo	23,000
Platino passato per lo laminatoio	22,668
Platino passato per trafila	21,042
Platino battuto a caldo	20,338
Platino purificato	19,500
Oro battuto a caldo	19,362
Oro fuso	19 258
Iridio	18,600
Tungsteno	17,680
Mercurio a 0	13.598
Piombo fuso	11.352
Palladio	11,300
Rodio	11.000
Argento fuso	10,474
Bismuto fuso	9,822
Rame in fili	8,878
Cadmio	8.694
Mollbdeno	8.611
Ottone	8,393
Arsenico	8,308
Nikel fuso	8.279
Uranio	8,100
Acciaio non lavorato	7.816
Cobalto fuso	7,812
Ferro in ispranghe	7.788
Stagno fuso	7,291
Ferro fuso	7.207
Zinco fuso	6.861
Manganese	6,850
Antimonio fuso	6,712
Tellurio	6.115
Cromo	5,900
Iodio	4.948
Selenio	4,320
Diamanti i più pesanti (leggiermente tinti di color di rosa	3,531
— i più leggieri	3 501
Flint-glass (inglese)	3,329
Termalina (verde)	3,155
Marmo di Paro (carbonato di calce lamellare)	2.837
Smeraldo verde	2,775
Perla	2,750
Corallo	2,680
Cristallo di rocca puro	2 653
Vetro della fabbrica di San Gobain	2.488
Porcellana della China	2,384
Solfato di calce cristallizzato	2,311
Porcellana di Sevres	2,145
Zolfo natio	2,033
Avorio	1,917
Alabastro	1,874
Antracite	1,800
Fosforo	1,770
Carbon fossile compatto	1,329
Gagate	1,259
Succino	1,078
Sodio	1,972
Potassio	0,865
Legno di faggio	0,852
di frassino	0,745
di tasso	0,807
di olivo	0,800
di melo	0,733
di melarancio	0,705
di abete giallo	0,657
Diaccio	0,930
Legno di tiglio	0,604
di cipresso	0,598
di cedro	0,561
di pioppo bianco di Spagna	0,529
di sassofrasso	0.482
di pioppo comune	0,383
Sughero	0,240

Densità di alcuni liquidi a 0.

Acqua distallata	1,000
Mercurio	13,598
Bromo	2,966
Acido solforico	1,841
Acido nitrico	1,217
Latte	1,030
Acqua di mare	1,026
Vino di Bordeaux	0,994
Vino di Borgogna	0,921
Olio di olive	0,815
Olio essenziale di terebintina	0,870

Pierre, professore alla Facoltà delle Scienze di Bordò, osservatore abile ed ingegnoso, ha voluto comunicarmi la seguente tavola, che risulta da sperienze da lui fatte con molta diligenza.

Densità de' liquidi a 0°.

Nomi de' liquidi	Densità
Alcol	0,815 09
Spirito di legno	0,820 74
Alcool amilico	0,827 05
Solfuro di carbonio	1,293 12
Ossido d' etile (etere ordinario)	0,735 74
Cloruro d' etile (etere cloroidrico)	0,921 38
Bromuro d'etile (etere bromoidrico)	1,473 29
Ioduro d' etile (etere iodoidrico)	1,975 46
Bromuro di metile (etere B. dello spirito di legno)	1,664 43
Ioduro di metile (etere Io. dello spirito di legno)	2,199 22
Cloruro d' amile (etere Cl. dell' olio di pomi di terra)	0,895 84
Formiato d' ossido d' etile	0,935 65
Acetato d' ossido d' etile	0,906 91
Butirrato d' ossido d' etile	0,904 93
Acetato d' ossido di metile	0,866 84
Protocloruro di fosforo	1,616 16
Butirrato d' ossido di metile	1,029 25
Protocloruro d' arsenico	2,204 95
Protobromuro di fosforo	2,924 89
Bicloruro di titanio	1,760 88
Bicloruro di stagno	2,267 12
Cloruro di silicio	1,523 71
Bromuro di silicio	2,812 80
Liquore degli Olandesi	1,280 34
Liquore al bromo degli Olandesi, a 20°,79	2,162 72

Bromo	3,187 18
Acido butirrico	0,981 65
Aldeide	0,805 51
Acido solforoso liquido ed anidro, 20°,48	1,491 1
Etere solforoso	1,106 34
Etere cloroidrico monoclorurato	1,240 74
Etere cloroidrico biclorurato	1,346 51
Liquore monoclorurato degli Olandesi	1,422 34
Liquore biclorurato degli Olandesi	1,611 58
Liquore triclorurato degli Olandesi	1,662 67
Bicloruro di carbonio	1,629 83
Terebinto	0,871 79
Bisolfuro di metile	1,063 58
Solfocianuro di metile	1,087 94

SUPPLIMENTO 7°.

Applicazione delle antecedenti dottrine alla spiegazione di alcuni fenomeni.

Le più grandi forze della natura e forse le sole che variamente modificandosi divengon le cagioni di tutt' i fenomeni, sono i così detti principî imponderabili, essi sono, direi quasi, l'anima del mondo: ed oh! di quanti fenomeni potremmo render ragione se la natura degl' imponderabili meno ignota ci fosse! Il calorico, del quale abbiam cominciato a conoscere le proprietà, è un poderosissimo agente della natura: prodigiosa è la forza con la quale dilata i corpi, si oppone alla forza di coesione mercè la quale le molecole di essi tengonsi strette fra loro, e genera i liquidi ed i fluidi aeriformi. La forza repulsiva dunque del calorico, e quella di coesione delle molecole, la quale potrebbe ben essere l' effetto di altro imponderabile, sono in continua opposizione fra loro, rimanendo or l' una or l' altra vincitrice o vinta, e quindi i corpi son costretti a prendere stati diversi.

Dalla proprietà che ha il calorico di aumentare il volume dei corpi segue la spiegazione di parecchi altri fenomeni oltre di quelli de' quali si è innanzi discorso: mi piace perciò qui di notarne alcuni (1).

Immergendo un termometro nell'acqua bollente, si vede a prima giunta il liquido discendere alquanto e poi tosto salire; il contrario avviene immergendolo nel diaccio in liquefazione: ciò dipende dal dilatarsi o restringersi da prima il tubo ed il recipiente del termometro che risentono i primi gli effetti del calorico. Un vase di vetro avvicinato al fuoco sovente si rompe: come avviene talvolta a quei tubi che circondan la fiamma de' fanali, questo avviene per la ineguale dilatazione che soffre il vase, il quale se si ponga nell' acqua, la quale si faccia riscaldare sino all'ebollizione, non si rompe perchè egualmente è dilatato. Quel che si è detto per la dilatazione vale anche per lo rapido restringimento, per cui le sfere di vetro molto sottile messe in un meseuglio refrigerante, per esempio di neve ed acido nitrico, si rompono.

Un volume di aria riscaldandosi si dilata, e quindi se è chiuso in un recipiente le cui pareti si possono allargare, quale sarebbe per esempio una vescica non interamente piena, queste saranno spinte con forza e quindi crescerà il volume del recipiente, onde questo, sotto un maggior volume, conterrà la stessa quantità di aria, e però l' aria di questo recipiente essendo dell' esterna men densa, avrà minore gravità specifica, e per le leggi idrostatiche sarà spinta in sù con forza eguale alla differenza tra il peso di un egual volume di aria fredda circostante ed il peso proprio. Ecco la ragione per la quale un globo aerostatico alla Montgolfier si gonfia ed ascende. Se poi un volume d' aria non chiusa in alcun recipiente si riscaldi, questa dilatandosi ascenderà in alto, finchè si raffreddi e si sperda nell'aria circostante. Quindi l' aria contenuta in un camino essendo riscaldata dall' azione del fuoco

(1) Ho notato altrove particolari maniere di dilatazione di certi corpi. A queste se ne potrebbe aggiungere anche qualche altra: « Mitscherlich osservò che in alcuni cristalli i quali non hanno » nella forma primitiva tutti gli assi eguali, come » i cubici, la dilatazione per lo calorico non si » fa egualmente in tutte le direzioni, e può anzi » avvenire che in una direzione si restringano mentre si dilatano in altra. Riscaldando per esempio un romboedro di carbonato di calce, detto » spato d' Islanda, sembra che la forza dilatatrice » del calorico preferisca di portarsi sull' asse minore del cristallo, il quale allungandosi anche » comparativamente, il romboedro si avvicina alla » forma cubica. Misurando le inclinazioni delle facce » di tal cristallo a diverse temperature, esso le vide variare sensibilmente per la varia temperatura: da 0° a 100° C. la variazione fu di 8',5. » Da tale dilatazione risulta che, supponendo nulla » la dilatazione del cristallo nella direzione normale all' asse, la sua dilatazione cubica sarebbe » notabilmente maggiore di quella del vetro. Ora » Mitscherlich, misurando con Dulong la dilatazione cubica dello spato d' Islanda, trovò che » anzi è minore di quella del vetro. Da ciò consegue, che mentre il calorico dilata il cristallo » parallelamente all' asse, ravvicina le sue molecole nella direzione normale. Mitscherlich se ne » assicurò misurando a diverse temperature la » spessezza di una lastra di spato tagliata parallelamente all' asse. » Pianciani, Istituz. Fisico-chimiche. T. II.

sottoposto, farà forza per ascendere insieme col fumo, onde si ha una corrente di aria diretta dal basso in alto; sarà facile il comprendere, questa corrente dover essere più o meno vigorosa, secondo la maggiore o minor temperatura e la maggiore o minor altezza del camino (*V. Péclet. Traité Élémentaire de Physique* t. I). Ciò non ostante stimo opportuno il dire alcune cose intorno a questo argomento. La lunghezza del camino accresce la velocità dell' aria ed in conseguenza giova a tirare il fumo, ma si giunge ad un limite in cui l' attrito giunge a compensare un siffatto aumento. Ne' fornelli in cui vuolsi una forte combustione si dà al camino l' altezza anche di 100 piedi. Ma è mestieri regolarsi a seconda de' casi: così ne' camini delle nostre abitazioni la soverchia efficacia nel tirare il fumo genererebbe una troppo sollecita rinnovazione d' aria dalla quale si avrebbe un vento freddo. La poca forza nel tirare per l'opposto non manderebbe via il fumo. L' altezza dei camini non deve essere generalmente minore di 10 metri; con un camino di 5 metri si ha sempre fumo.

Alla efficacia del tiro giova la larghezza del camino, purchè l'aria sia ben riscaldata, e però si vuole una molto energica combustione; per la qual cosa la larghezza dev'essere proporzionata alla quantità di fuoco che si suole accendere sotto al camino, perocchè quando il camino è largo ed il fuoco è scarso si ha sempre fumo. Quando il camino si stringe verso gli estremi si accresce la velocità dell' aria, onde si potrà alla parte inferiore dello stesso adattare una lamina che abbia de' fori di varia grandezza per giovarsene secondo le occorrenze. Ognun comprende poi che la forma cilindrica in parità di sezione dà meno attrito, e però sia da anteporsi ad ogni altra. Se il camino per un tratto si voglia inclinato o anche orizzontale si badi bene a fare in modo che nella parte verticale l' aria sia ben calda.

La velocità di elevazione dell'aria o la forza del tiro ne' camini è maggiore se son di ferro fuso, meno se son di latta ed anche meno se son di mattoni. Quando i camini dan fumo col vento è mestieri accrescere la velocità di elevazione; quando l' aria ha una velocità di due metri per ogni minuto secondo entro del camino, i venti ordinari non han forza di respingerla secondo è stato dall'esperienza fermato. (*V. Soubeiran Précis. élém. de Physique facile. Paris 1842*). Con questi principi si rende ragione della salita dell'aria, durante le ore calde sulle pendici delle montagne in alcune valli (*V. Doubuisson Géognosie*); de' venti che spirano dal mare verso terra nelle ore più calde della giornata, e di quelli che spirano dalla terra ferma verso il mare nelle ore più fredde; del vento che suole spirare dalle montagne dopo la caduta delle prime nevi; di quel tremollo che si vede nelle ore calde di state per l' aria, particolarmente guardando un oggetto col cannocchiale; ec.

L' atmosfera che circonda la terra non può mai trovarsi alla stessa temperatura, e quindi debbon seguirne de' moti più o meno considerabili de' quali si parlerà nella Meteorologia.

In alcuni luoghi montuosi si trovano certi spiragli da' quali nella state esce un soffio d'aria freschissima, e con forza tanto più grande per quanto più elevata è la temperatura dell' aria esteriore. Parecchi di questi son descritti da Saussure ne' suoi viaggi nelle Alpi. Uno di questi si trova a Cesi nell' Umbria in un podere della famiglia Cesi, e fu da Saussure visitato nel mese di luglio 1773: allora esso mandava fuori uno spiro della temperatura di $+ 5° \frac{3}{4}$ R.; e sebbene in quella giornata in cui questo Autore visitava quel luogo l' aria esterna non fosse molto calda, pure questo soffio spegneva quasi i lumi che vi si accostavano. Gli venne poi riferito, nell' inverno entrare l'aria con violenza, specialmente ne' tempi di freddo più intenso. La famiglia Cesi trae profitto da questa corrente di aria, dirigendola in una cantina dove tiene vino, frutta ed altre vettovaglie, facendola per opportuni condotti entrare nelle abitazioni per tenerli freschi, e giovandosene anche per conservar fresche le bocce a tavola. Altre cantine rinfrescate con lo stesso mezzo si trovano non solo a Cesi, ma in molti altri luoghi; come per esempio nel territorio della Repubblica di S. Marino, a Chiavenna, ad Hergisweil nel Cantone di Underwald.

La cagione più probabile, per non dir certa, di questo fenomeno, dice il prof. Belli, si è l' avervi in questi luoghi montuosi delle interne cavità con più aperture a diversa elevazione. Durante l' inverno l' aria che si trova contenuta in queste cavità essendo dell' aria esterna più calda, e quindi specificamente più leggiera, tende ad innalzarsi; e però comincia ad uscire per le aperture superiori, in quella guisa appunto che l' aria ed il fumo ascendono ne' camini; ma mentre l' aria interna più calda, inalzandosi, esce per le superiori aperture, l' aria esterna più fredda entra per l' apertura inferiore a raffreddare l' interno delle cavità anzidette, prima nelle parti più basse e

quindi nelle rimanenti, producendo un tale raffreddamento non solo col togliere il calorico per contatto, ma eziandio per mezzo dell' evaporazione che l' aria medesima, comecchè asciutta, deve promuovere in que' luoghi sempre grondanti di umidità. La cosa deve così continuare fino alla primavera, perciocchè allora l' interno della cavità essendosi notabilmente raffreddato, e mitigatosi alquanto il freddo esterno, le due temperature, l' interna e l' esterna cioè, son quasi eguali. Venendo poi l' estate, l' aria interna più fredda e quindi più densa di quella esterna, tende a discendere e ad uscire per le aperture inferiori, ed è chiaro dover esser tanto più forte il soffiar di questo vento sotterraneo, per quanto più calde siano le giornate, cioè per quanto maggiore sia la differenza delle temperature. Mentre intanto l' aria fredda esce per le inferiori aperture, entra per quelle di sopra a poco a poco l' aria esterna, la quale essendo calda va lentamente riscaldando la caverna, talchè al sopravvenire dell' autunno le temperature eguagliandosi di nuovo, si vede il soffio indebolire e quindi mancare del tutto, finchè venuto l' inverno il moto non si rovesci.

Quello però che è più singolare, seguita a dire il lodato prof. Giuseppe Belli, si è che in alcuni luoghi un tale fenomeno avviene per opera dell' uomo, come può osservarsi a Roma nel Monte Testaceo. È questo una collina isolata di due in trecento piedi di altezza, la quale sembra di rottami di urne, di anfore o di altri vasi di terra interamente formata, onde pare che il suo interno sia facilmente permeabile all' aria. Verso la base esce nella state dagl' interstizi di quei rottami un' aria freddissima, talchè in una delle cantine ivi esistenti trovò Saussure nel primo di luglio 1773 una temperatura di $+ 5° \frac{1}{4}$ R.; nell' atto che l' aria esteriore all' ombra era a $+ 20° \frac{1}{2}$; e Nollet in una stagione più avanzata cioè il 9 settembre del 1749 vi trovò ancora una temperatura di $+ 9° \frac{1}{3}$ R.; mentre il termometro all' aria aperta segnava $+ 18°$. La città di Roma trae un gran profitto da questa collina, essendovisi formate intorno delle cantine altissime per la conservazione de' vini. Forse questo comodo, continua il Belli, che secondo tutte le apparenze venne proccurato a Roma senza intenzione diretta, potrebbe anche ottenersi in altri paesi meridionali, ove difficilissimo riesce il trovar riparo dal caldo.

Gehler nel suo Dizionario fisico descrive molte grotte dalle quali esce di state un vento fresco, e tra queste annoverar si debbono le *Ventarole* che si trovano in alcuni luoghi del nostro Regno, come per esempio la così detta *Ventarola della Funera* nell' isola d' Ischia, ed altre che si trovano particolarmente alle falde del Vesuvio, come ad Ottaiano ed a Bosco Trecase, Belli e Pianciani citano alcune di queste nostre Ventarole, per cui volli visitarne una, additatami dal Monticelli, la quale trovasi alle falde del Vesuvio e, propriamente nel comune di Bosco Trecase in un luogo detto Casa Cirillo, di proprietà de' signori Sorrentino.

Nella mattina del 21 luglio del 1840, mentre il termometro di R, segnava 23° posto all' ombra, usciva da quel sotterraneo meato un soffio forte da spegnere facilmente un lume e della temperatura di 12° R. I naturali del luogo mi riferirono parecchie altre notizie che sulla lor fede esposi nella prima edizione di questi elementi, ma siccome essi affermavano che quella ventarola non assorbiva mai, ed io nel dicembre dell' anno seguente mi assicurai del contrario, così non istarò quì a ripetere quello che dissi allora. Nelle due volte che ho visitato la ventarola di Bosco non ho mancato di portar meco un barometro, ma con due sole osservazioni non si potrebbe tirare alcuna conclusione.

SEZIONE SECONDA

CAMBIAMENTO DI STATO DE' CORPI.

CAPO PRIMO

DELLA FUSIONE E DEL CONSOLIDAMENTO.

138. *Fusione*. — È facile il comprendere essere la *fusione*, ossia il passaggio dallo stato solido allo stato liquido un fenomeno generato dal calorico, e nessun' altra cagione della natura potere indurre i corpi a siffatto cambiamento di stato. Il ghiaccio si può rompere e ridurre in polvere, può essere assoggettato a tutte le potenze meccaniche, a tutti gli agenti naturali, senza cessare di essere un corpo solido, purchè il calorico non venga ad esercitare la sua azione sopra di esso per convertirlo in acqua. Si può dire lo stesso della cera, ed allorchè esposta ai raggi del sole si vede fondersi, si conosce ciò avvenire per opera del calorico e non della luce. E se il piombo battuto con replicati colpi sull' incudine si può liquefare e cadere a gocce, questo accade

perchè la pressione o la percossa fan nascere un caldo perfettamente simile a quello del fuoco. Laonde lo stato di solidità o di fluidità di un corpo è uno stato relativo, che dipende interamente dalla temperatura alla quale questo corpo è assoggettato. Se la terra si trovasse ad una diversa distanza dal sole, essa avrebbe un'altra consistenza ed un altro aspetto. Se fosse più vicina, la maggior parte dei metalli sarebbero in uno stato di permanente fusione, e le profondità de' mari in vece di esser piene di acqua potrebbero esser piene di sostanze metalliche liquefatte: se al contrario fosse più lontana, il mare sarebbe solido, non vi sarebber più acque fluenti, e probabilmente neppure liquidi in circolazione, per far nascere i fenomeni organici della vegetazione e della vita.

Il calorico penetrando e dilatando tutt'i corpi, ci viene naturalmente curiosità di sapere se può del pari far passare tutt'i corpi senza eccezione dallo stato solido allo stato liquido. Ora mettendo in disamina sotto questo aspetto tutt'i corpi solidi, si trovano grandi differenze tra essi: ve n'ha di quelli che sono eminentemente *fusibili*, che non possono sostenere neppur le più basse temperature senza passare allo stato liquido; tali sono il ghiaccio, il fosforo, la cera, lo zolfo, le materie grasse e le resine: ve ne sono altri i quali per fondersi richieggono temperature alquanto più elevate, come sarebbe lo stagno, il piombo e varie leghe: finalmente molti se ne trovano i quali non possono entrare in fusione se non per mezzo di un fuoco mantenuto per lungo tempo alla più alta temperatura che noi possiamo produrre; l'oro l'acciaio, il ferro, il platino sono fra questi. I corpi che resistono al maggior grado di calore che per noi si può far nascere, si dicono *infusibili*, *fissi* o *refrattari*; e siccome i nostri mezzi di svolgere il calorico si vano sempre più perfezionando, così il numero delle sostanze infusibili va continuamente scemando. Il carbonio sembra essere il più *refrettario* di tutt'i corpi, e frattanto molti fisici pretendono avere osservato delle tracce di fusione sugli angoli del diamante da essi assoggettato all'esperienza. Aspettando che questo fatto sia meglio assicurato, si può almeno per analogia conchiudere non esservi corpo essenzialmente infusibile.

Le sostanze organiche essendo generalmente composte di carbonio e di elementi gassosi più o men volatili, spesso per l'azione del fuoco si decompongono invece di liquefarsi. Il legno fortemente riscaldato si rende carbone e non si liquefa; avviene lo stesso alle frutta, ai fiori ed agli altri tessuti vegetabili; dicasi lo stesso delle fibre muscolari e degli altri tessuti dei corpi viventi. Tutte queste sostanze all'azion del calorico si decompongono, i prodotti volatili esalano, ed in ultimo risultamento vi resta solo il carbone con gli altri elementi fissi che ad esse servon di base.

Molti corpi inorganici anche si decompongono piuttosto che non si fondono, e ci è voluto l'ingegno inventivo di Hall per rendere aperta le loro fusibilità. Il suo metodo consisteva a riscaldar questi corpi, tenendoli sotto alta pressione, in modo che gli elementi più volatili non potessero esalare. In tal modo Hall ha fatto fondere il marmo senza farlo convertire in calce, ed ha dimostrato egualmente la fusibilità di molte sostanze vulcaniche. Questi fatti sono molto importanti per la investigazione della origine e della formazione de' diversi strati da' quali la terra è formata.

139. *Condizioni della fusione.* — Quando i corpi passano dallo stato solido allo stato liquido, presentano due notevolissimi fenomeni (§ 123): si tengon da prima solidi, finchè sian giunti ad una certa temperatura *fissa*, la quale per lo stesso corpo è sempre la stessa; e da questo momento può la fusione aver cominciamento; restano poi alla temperatura medesima in tutto il tempo della fusione, sia quale si voglia la quantità di calorico che ad essi si comunichi: d'onde segue che essi assorbono questo per fondersi e lo tengon celato entro di loro senza mostrarlo. Laonde la *invariabilità di temperatura* e l'*assorbimento del calorico latente* sono le *due condizioni* essenziali della fusione. Cotesti fenomeni si posson facilmente osservare su i corpi molto fusibili, la temperatura de' quali si può valutare sul termometro a mercurio, ed anche sopra i corpi di difficile fusione, la cui temperatura si deve per altre vie misurare. Era quasi passato un secolo da che il termometro era stato inventato, e non ancora conoscevasi con certezza la invariabilità del punto di fusione dei corpi; credeasi, per esempio, il ghiaccio doversi fondere a diverse temperature, secondo le latitudini o l'elevazioni dei luoghi dove erasi formato. Dimostrata la prima condizione della fusione, ci volle più di un mezzo secolo per fare aperta l'altra, cioè l'assorbimento del calorico latente; perciocchè non prima del 1763 fu questa fondamentale verità dimostrata da Black, il quale ne fece conoscere le importanti conseguenze. Intendesi senza pena, la quantità di calorico latente che un corpo riceve per fondersi essere proporzionale alla massa del

medesimo che si fonde, e noi vedremo altrove che, eguali masse di corpi diversi, prendono differentissime quantità di calorico latente; il che basta per contrassegnare ciascuna sostanza con un distintivo simile a quello che proviene dalla densità, o da altre qualità distintive della materia.

L'affinità chimica intanto può far variare il punto di fusione dei corpi, ma sembra che non possa in modo veruno alterare l'assorbimento del calorico latente: così la neve o il ghiaccio pesto trovandosi alla temperatura —10° in contatto col sale comune preso alla temperatura medesima, avviene, che i due corpi si fondano combinandosi, e la temperatura si renda assai più bassa, il che apertamente ci mostra l'assorbimento del calorico latente. Ecco il principio da cui dipende la formazione de'*miscugli frigorifici* de' quali appresso discorreremo. Nelle combinazioni di questa natura, il maggior freddo che si può produrre è determinato dalla temperatura alla quale gli elementi della combinazione cessano di operare gli uni sugli altri. La neve ed il sale, per esempio, non avendo più tra loro una sensibile azione, allorchè trovansi a 18° o 20° al di sotto di 0, non si potrà con questi elementi avere un freddo maggiore di —18° o —20°, perciocchè oltre di questo termine essi non più si combinano; e per avvicinarsi quanto più si possa a questo limite, è mestieri che il calorico latente sia esclusivamente somministrato dalla parte degli elementi che entrano in combinazione.

Quello che accade ne' miscugli frigorifici, riproducesi con qualche modificazione in parecchi casi nelle arti, come nell'estrazione de' metalli, nella fabbrica del vetro, ed anche ne' numerosi saggi che si possono fare col cannello dello smaltatore per la determinazione chimica o mineralogica di diverse sostanze. Si adoperano allora dei *fondenti*, cioè dei corpi, i quali hanno la proprietà di accelerare la fusione delle materie con le quali sono in contatto, quasi come il sale accelera quella del ghiaccio o della neve. Il composto che ne risulta essendo molto più fusibile della sostanza cui si unisce il fondente, se ne può trarre più facilmente profitto: spesso si adopera per altre combinazioni chimiche, siccome con la miniera di ferro si suole praticare, la quale si fonde mercè il fondente, indi si disossida o si carbonizza trasformandosi in ferro strutto (*fonte*) (1), spesso è lavorato immediatamente, come il vetro (2); e talvolta dalla diversa tinta si può giudicare degli elementi chimici di un composto di questo genere. Il seguente quadro contiene i punti di fusione di varie sostanze: quelli che sono al di sopra del rosso nascente gli ho determinati o col pirometro ad aria innanzi descritto, o per mezzo della capacità per lo calorico; o col pirometro magnetico del quale si parlerà nella seconda parte del calorico.

Tavola del punto di fusione di varie sostanze espresso in gradi del termometro centigrado.

Nomi delle sostanze	Gradi centesimali
Ferro inglese battuto	1600
Ferro dolce francese	1500
Acciaio il meno fusibile	1400
Acciaio il più fusibile	1300
Ferro strutto combin. con mang.	1250
Ferro strutto bigio, 2ª fusione	1200
Id. molto fusibile	1100
Ferro strutto bianco poco fusibile	1100
Id. molto fusibile	1050
Oro purissimo	1250
Oro al titolo delle monete	1180
Argento purissimo	1000
Bronzo	900
Antimonio	432
Zinco	360
Piombo	320
Bismuto	262
Stagno	230
Lega di 5 atomi di stagno ed 1 di piombo	194
— 4 stagno, 1 piombo	189
— 3 stagno, 1 piombo	186
— 2 stagno, 1 piombo	166
— 1 stagno, 1 piombo	241
— 1 stagno, 3 piombo	289
— 3 stagno, 1 bismuto	200
— 2 stagno, 1 bismuto	167.7
— 1 stagno, 1 bismuto	141.2
— 1 piombo, 4 stagno, 5 bismuto	118,9
Solfo	114
Jodo	107
2 piombo, 3 stagno, 5 bismuto	100
5 piombo, 3 stagno, 8 bismuto	100
4 bismuto, 1 piombo, 1 stagno	94
Sodio	90
Potassio	58
Fosforo	43
Acido stearico	70
Cera bianca	68
Cera non imbianchita	61
Acido margarico	55 a 60
Stearina	49 a 43
Spermaceto	49

(1) Detto anche *ferro fuso*, e da' Lombardi *ghisa*.

(2) La potassa e la soda sono i fondenti della silice nella fabbricazione del vetro.

Acido acetico	45
Sego	33,33
Ghiaccio.	0,0
Olio di terebintina	—10,0
Mercurio	—39,0

140. *Solidificazione.* —Quando i liquidi passano allo stato solido osservansi due fenomeni corrispondenti a quelli della fusione: primieramente la solidificazione si avvera ad una temperatura fissa, che è quella della fusione: in secondo luogo tutto il calorico latente, che è stato assorbito durante la fusione, è riprodotto e sviluppato nel tempo della solidificazione. Basta un termometro per rendere aperta la prima verità, ma in quanto alla seconda non possiamo far conoscere come si possa con l'esperienza dimostrare, se non quando avrem fatto conoscere la maniera di misurare il calorico latente. Si sa intanto, e questa osservazione fu fatta da Fahrenheit nel 1724, che l'acqua pura in certi casi può esser portata fino a 10° o 12° al di sotto dello zero senza che si geli; è questa una maniera di eccezione, che si appalesa anche in qualche altro liquido. Cotesto fenomeno, che talvolta accade all'aria aperta, più facilmente si mostra, quando la superficie del liquido soffre appena una debole pressione, generata dall'aria o da'vapori; onde per poterlo osservare è mestieri di chiudere il liquido in tubi, i quali si suggellano dopo di avervi fatto il vôto, ovvero di porlo sotto al recipiente della macchina pneumatica e raffreddarlo gradatamente, evitando per quanto è possibile qualunque agitazione. Allora dopo un grado di raffreddamento basterà dare al liquido qualche leggiera scossa, o di gettare in esso qualche frammento di un solido qualunque, per veder sul momento una congelazione più o meno compiuta. Ciò è stato dal Despretz confirmato, sì come lo indica la tavola a pag. 152: la penultima colonna indica l'istante in cui è cominciata la congelazione, e l'ultima indica il punto in cui il termometro è risalito, e per conseguenza il punto vero della congelazione. Il termometro intanto, il quale segnava l'abbassamento di temperatura, si vedrà tosto montar su, e giungere talvolta fino al termine naturale del cambiamento di stato del corpo. Il rapido consolidarsi del liquido in questi casi e l'innalzarsi del termometro, sono due fenomeni, de'quali si può facilmente rendere ragione: il calorico latente delle parti che si congelano prima si riduce sulle parti vicine che sono ancor liquide; le riscalda, ma non a segno da impedire che anche esse a lor posta si congelino; quindi il doppio fenomeno del presto consolidamento e dell'aumento di temperatura. Le soluzioni di solfato di soda presentano fenomeni analoghi: queste essendo saturate a caldo, se si raffreddano all'aria aperta, depongono a poco a poco il sale di soda; se poi sian chiuse in tubi assottigliati e chiusi alla lucerna, dopo di averle spogliate d'aria mercè l'ebollizione, il raffreddamento non cagionerà precipitazione, ma tosto che si romperà la punta di uno di questi tubi, facendovi entrare l'aria, si vedrà una precipitazione quasi istantanea ed elevazione di temperatura.

Il ritorno allo stato solido avviene lentamente e senz'aumento di temperatura, se è operato al grado di calorico ordinario. Per esempio quando l'acqua si gela a 0, la congelazione suole nello stesso tempo cominciare in più punti, ne'quali le molecole che gelano le prime danno il loro calorico latente alle vicine, che si tengono perciò ancor liquide per un certo tempo. Onde avviene che dapprima si osservano alcune sottili lamine di ghiaccio, o alcuni aghi finissimi, o alcuni filamenti che nella massa liquida svariatamente s'incrociano. Ad una certa distanza da questi primi filamenti altri se ne formano, e così via via fino a tanto che il freddo non siasi impadronito di tutte le molecole liquide, per poterle in una sola massa solida riunire. Senza il calorico latente i corpi diverrebber solidi in un istante. Laonde la prestezza del consolidamento dipende dall'abbondanza del calorico che sprigionasi, e dalla facilità con la quale si può dissipare.

Uno stesso liquido nel convertirsi in solido può prendere aspetti e proprietà diversissime. Quando il fenomeno è operato lentamente e senza agitazioni, la sostanza suole cristallizzarsi e prendere la maggiore densità di cui è capace. All'opposto, quando il raffreddamento è rapido o la massa liquida è in qualunque maniera agitata, le molecole non hanno agio di riunirsi in gruppi ed ordinarsi, e però, tumultuariamente riunendosi, generano un solido le cui parti si trovano in un certo stato di violenza. Vedremo, parlando delle *azioni molecolari*, i singolari fenomeni che a tal riguardo presentano lo zolfo, il fosforo, il vetro, e parecchi altri corpi, allorchè, trovandosi ad una temperatura alquanto alta, sono presto raffreddati, e particolarmente quando a divenir solidi sono improvvisamente costretti. Ma, sia rapido sia lento il consolidar de'corpi, sarà sempre vero che essi scemano alquanto di volume nel fare questo passaggio. Ma l'acqua, come ognun sa, soffre un effetto contrario,

cresendo di volume nel congelarsi; ed Ermann ha osservato un simile fonomeno nella lega di quattro parti di bismuto una di piombo ed una di stagno: questa lega singolare si dilata nel consolidarsi, ed allo stato solido ha un minimo di densità verso 44 gradi.

Siam debitori a Rudberg delle importantissime osservazioni fatte sul consolidamento di varie leghe metalliche di piombo e stagno di stagno e bismuto, di stagno e zinco, di zinco e bismuto (*Ann. de Physiq. et de chim.* t. 48, p. 353). Per esempio, allorchè la lega binaria di piombo e stagno è formata da un atomo di piombo e tre di stagno, essa si rende solida a 187° circa; ma se è formata con altra proporzione, presenta due punti di consolidamento, l'uno fisso a 187°, l'altro mobile ad una temperatura tanto al di sopra di 187°, per quanto più v'ha di eccesso di piombo o stagno sull'antecedente proporzione di un atomo di piombo per tre di stagno. Donde segue chiaramente formarsi due differenti leghe, le quali restano mescolate fino a che il raffreddamento non le separi. Simili fenomeni si hanno dalle altre leghe metalliche.

CAPO II.

DE' VAPORI NEL VÔTO.

141. *I vapori si formano lentamente nell'aria e rapidamente nel vôto.*—Posto un liquido all'aria aperta, suole a poco a poco scemare di volume, e dopo un certo tempo interamente sparire. Così l'acqua che dopo la pioggie covre la terra, non regge al soffio di un vento asciutto ed all'azione de' raggi solari per un certo tempo prolungata: essa in pochi giorni si sperde, non solamente perchè s'infiltra nel suolo, ma anche perchè esala nell'aria. Del resto si ha di ciò una pruova, osservando quello che interviene ad un vaso pieno d'acqua esposto all'aria aperta o anche in un appartamento: l'acqua si vede continuamente scemare, e finalmente restan solo nel fondo del vase i corpi stranieri, che eran tenuti in dissoluzione dalla medesima. Si ha lo stesso fenomeno, ma con maggiore prestezza, facendo bollire l'acqua per mezzo del fuoco; il liquido non rimane assorbito nè dal vaso nè dal fuoco, e frattanto in poche ore si dilegua. Da cosiffatte osservazioni si può ben inferire, i liquidi mutare il loro stato, divenire invisibili, ed acquistare una forza espansiva come i gas; e questo appunto si vuole intendere allorchè si dice che essi *evaporizzano* o che si convertono in *vapori*. I corpi sono tanto più *volatili*, quanto più prontamente ed a temperature più basse si riducono in vapori o si volatilizzano.

Si può anche osservare in certi casi non essere l'intero liquido che si converte in vapore, e ciò quando esso è formato da un miscuglio di corpi diversi, i quali possono mercè l'evaporazione separarsi: allora le parti più volatili più copiosamente esalano, ed il liquido che rimane non è più composto dagli stessi elementi, o almeno non li contiene più nella proporzione medesima.

Per molto tempo fu supposto non potersi i vapori formare, nè da se stessi mantenersi, ma generarsi alla superficie de' liquidi mercè l'azione dissolvente dell'aria, ed esser questa medesima cagione necessaria per tenerli sospesi nell'atmosfera. Il mezzo più semplice per dimostrare la fallacia di questo pensamento, e per istudiare le importanti proprietà de' vapori, consiste nel dar loro uno spazio privo di aria e di ogni altro gas, nel quale possano liberamente svolgersi da loro stessi. Il vôto barometrico è a cosiffatta generazione di esperienze convenientissimo, non solo perchè è il più perfetto che si possa avere, ma eziandio perchè la colonna di mercurio col suo abbassarsi può molto bene indicare l'efficacia della forza espansiva, che opera al sommo di essa. Supponiamo dunque che in una vaschetta alquanto ampia *rr'* (*fig.* 205, tav. 10) sian posti due barometri *b* e *b'* i quali indichino con molta giustezza la pressione dell'atmosfera, e che per mezzo di un cannello ricurvo si faccia passare una piccola quantità di acqua nel tubo del barometro *b'*. L'acqua monterà su per la sua gravità specifica minore di quella del mercurio, e giungendo nel vôto torricelliano si vedrà tosto la colonna del barometro abbassarsi di parecchi millimetri. Non è sicuramente il peso della piccola quantità di acqua che abbia potuto deprimere il mercurio, non l'aria che essa avrebbe potuto contenere, la quale siasi sviluppata, perciocchè noi la supponiamo ben purgata d'aria. È forza dunque conchiudere, che la sostanza propria dell'acqua siasi ridotta in vapore nel vôto, e che il suo vapore abbia una proprietà simile a quella che noi abbiam chiamata *forza espansiva, forza elastica* o *tensione de' gas*, perciocchè essa produce quello stesso effetto che una piccola quantità di aria introdotta sul mercurio produrrebbe (1).

(1) Il cav. Luigi Sementini che tanto si rendette benemerito de' buoni studi fisicochimici nel nostro

La misura di questa forza elastica è data dalla *depressione*, cioè dall'abbassamento della sommità *t* al di sotto di *c*, o generalmente dalla differenza di altezza tra il vero barometro *b* e il barometro a vapore *b'*. E per fermo, se la sommità *t* sia depressa per esempio di quindici millimetri al di sotto della sommità *c*, è segno che si è sviluppata nel vôto al di sopra di *t* una forza elastica, che si equilibra con questa colonna di mercurio di 15 millimetri.

In un terzo barometro *b''*, posto appresso a questi, facendo passare un altro liquido, per esempio l'etere solforico, si vedrebbe del pari un rapido abbassamento, ma più grande di quello osservato in *b'*, perciocchè, facendo l'esperienza alla temperatura ordinaria, l'altezza del barometro *b''* diverrebbe quasi la metà di quella del barometro *b*. Donde segue in questo caso la forza elastica del vapore dell'etere solforico essere quasi quanto una mezza pressione atmosferica.

Lo strumento rappresentato dalla fig.209.tav. 10 è ordinato a far conoscere le forze elastiche di diversi vapori, ed a darne nello stesso tempo la misura. Esso è composto di una vaschetta rettangolare di ferro fuso, nella quale sono disposti sette o otto tubi barometrici, contenenti diverse sostanze: ogni tubo ha la sua scala, il cui zero è agli estremi delle due punte di acciaio *a*, *a'*: per ridurre la superficie del mercurio della vaschetta a livello con le anzidette punte, si volterà la vite *v*, la quale fa montar su o discendere il galleggiante *f*: le viti del piede dello strumento servono a rendere orizzontale la linea delle punte. Allora non si dovrà fare altro che paragonare la depressione di ciascun tubo con quello di mezzo, che è un barometro comune. Le sostanze, che sogliono sottoporsi in tal guisa all'esperienza, sono l'alcool, ogni sorta di etere, gli olj essenziali, la canfora, il muschio, ec.

142. *Del massimo di tensione de' vapori.* — È chiaro la forza espansiva de' vapori operare per ogni verso come quella de' gas: è chiaro egualmente avere una indefinita efficacia, vale a dire, che una quantità di vapore, sia pur picciolissima, si spande per ogni verso in uno spazio vôto anche grandissimo, arrestandosi verso le pareti che chiudono questo spazio, ed esercitando contro le medesime una più o men gagliarda pressione. Laonde una tenuissima particella d'acqua, col convertirsi in vapori, divien capace di occupare uno spazio di molte migliaia di metri cubici, appunto come farebbe una piccola quantità di aria nell'espandersi in questo spazio. Ma se i vapori hanno una forza espansiva indefinita, mercè la quale possono occupare uno spazio indefinitamente grande; non cresce poi certo indefinitamente quella forza elastica, con la quale sogliono resistere alle pressioni, che operar si possono contro di essi, e ridursi a volumi sempre più piccoli; noi infatti vedremo che se alcuno si sforzi di comprimere una data quantità di vapore per accrescerne la forza elastica, si giungerà ad un cotal punto in cui il vapore si *condenserà*, ritornando allo stato liquido, anzichè prendere una maggior forza elastica: questo termine estremo di resistenza, che manifestano i vapori pria di ridursi in liquido, chiamasi *il massimo di loro tensione*. Questa fondamentale verità può esser facilmente dimostrata per mezzo del *barometro a pozzetto profondo* espresso dalla fig.214, tav.10: il suo tubo *t* è molto lungo, ed il suo pozzetto *cc'* ha parecchi piedi di profondità. Fatto bollire il mercurio in tutta la lunghezza del tubo, si proccura di finire di empirlo con un poco di etere, il quale ne occupi l'altezza di due o tre centimetri, poi si capovolge il tubo immergendolo verticalmente nel pozzetto. L'etere ascenderà al sommo della colonna, ed una porzione ne rimarrà allo stato liquido, convertendosi l'altra in vapore nello spazio vôto ivi esistente, in modo da generare una considerabile depressione. La colonna *ns*, per esempio, avrà l'altezza di 400 millimetri, invece di 760 che ne avrebbe se non vi fosser sopra i vapori. Disposte così le cose, si fa scendere il tubo nel pozzetto, tentando di ridurre ad un minore volume il vapore che si è formato, ed allora si osserveranno due notevoli fenomeni: primieramente la colonna di mercurio *sn* rimarrà la stessa, il che significa la forza elastica del vapore conservarsi la stessa; in secondo luogo, lo strato liquido di etere aumenterà sensibilmente di grossezza coll'affondare di più il tubo, il che dinota che il vapore si condensa in vece di essere ridotto in uno spazio minore. Finalmente affondando di più il tubo per restringere lo spazio barometrico, tutto il vapore scomparirà tornando allo stato liquido, senza che la sommità *s* abbia sofferto la minima depressione. Il vapore dunque dell'etere ha un

paese, fin dal 1803 faceva tra noi l'esperienza dall'autore descritta, ed intanto vedemmo in opere di fisica, pubblicate più tardi, ritenuta ancora la pretesa forza dissolvente dell'aria, e tali autori furono careggiati e non provarono il tristo guiderdone che spesso onora i primi scopritori del vero o coloro che ne assumono l'apostolato.

massimo di forza elastica. Si può anche osservare che questo massimo di tensione lo prende da se stesso, senza che sia necessario di comprimerlo per far che vi giunga, e si mantiene così finchè tocca il liquido dal quale ha origine, perciocchè alzando il tubo per ingrandire lo spazio barometrico, si vede la colonna di mercurio conservare ancora la stessa altezza *sn*, nell' atto che lo strato liquido va gradatamente scemando; il che è un chiaro argomento che il vapore si forma per empire il nuovo spazio che gli si presenta, e per prendervi il massimo di tensione. Ma se il tubo può essere innalzato in guisa da far che tutto il liquido si dilegui, allora la cima *s* della colonna di mercurio comincia ad innalzarsi, la depressione si rende minore, ed in conseguenza la forza elastica del vapore finisce di essere al suo massimo.

Puossi anche dimostrare da questo momento esere le tensioni in ragione inversa dei volumi; ma non si hanno sperienze atte a mostrarci di quanto i varî vapori si allontanano dalla legge di Mariotte.

143. *Equilibrio di tensione in uno spazio variamente caldo.*—Non si dovrà durare molta pena nel ravvisare che la temperatura ingenera delle notabili varietà sul massimo di forza elastica dei vapori; imperciocchè facendo l' esperienze antecedenti a diverso grado di caldo, la colonna barometrica soffrirà depressioni molto diverse: con l' etere solforico per esempio la depressione è quasi di 180 millimetri alla temperatura 0, nell' atto che a 30° è di 630. Del resto i fenomeni che accadono sotto i nostri occhi ci porgon sufficienti pruove di questa verità: il vapore acqueo ha una debolissima tensione, allorchè si eleva dalle superficie dei laghi o dei mari; ed ha una forza elastica maggiore, allorchè nasce dalla ebollizione, perciocchè allora sostiene la pressione dell'atmosfera; preso finalmente ad alte temperature, la sua forza di elasticità diviene sì grande, che può non solo scagliare proiettili ben grandi, ma anche macchine intere ed enormi masse del peso di molti quintali: le esplosioni delle macchine a vapore ce ne offrono esempî ben numerosi e terribili.

Il piccolo strumento conosciuto sotto il nome di bollitojo (*bouillant*) di Franklin (figura 221, tav. 10) è molto acconcio a mostrare che la tensione del vapore d' etere aumenta con la temperatura, e diminuisce con essa. Dopo d' aver ripieno d' etere il piccolo globo *a* ed una parte del tubo, si fa bollire per un istante il liquido solamente nel tubo, a fine di purgare dell' aria sì il resto del tubo che il globo *b*, ed allora si chiude l'apertura *o* per la quale si sviluppa il vapore. Il liquido in questo mentre si pone a livello nei due globi. Ma se si riscalda con la mano il globo *b*, la tensione del vapore vi diviene maggiore, e tutto il liquido è cacciato nel globo *a*; avviene il contrario, ed il liquido passa da *a* in *b*, raffreddando *a*.

Dopo ciò potrebbe alcuno per avventura cercare quale sia il massimo di forza elastica del vapore in uno spazio di qualsivoglia figura, le cui parti avessero temperature diverse. Supponendo che questo spazio non abbia una grande altezza verticale, e che il vapore abbia, siccome sempre accade, poca densità, per le condizioni di equilibrio dei fluidi elastici conviene che la tensione sia la stessa in tutti i punti, ove trovasi il vapore; e siccome nei punti più freddi il massimo di tensione non può essere eguale a quello dei punti più caldi, sarà mestieri che in questi ultimi la forza elastica cessi di essere al suo massimo, e che si scemi fino a che si renda eguale al massimo dei punti più freddi. Onde in uno spazio variamente caldo, quando l' equilibrio si è composto, la tensione dei vapori è la stessa in tutti i punti; ed è eguale al massimo delle parti più fredde. Questo principio si è renduto sensibile mercè lo strumento *abc* (*fig.* 214, tav. 10): la pallina *a* si empie prima per metà di etere, il quale vi si fa bollire entro, e poi lo strumento con destrezza si capovolge in una vaschetta di mercurio. Si forma così un barometro con l' etere liquido nella pallina; ora se questa si raffredda si vedrà sensibilmente il barometro ascendere.

144. *Misura della forza elastica dei vapori acquei.* — La tensione dei vapori dell'acqua si misura tra 0 e 100°, al di sotto di 0, ed al di sopra di 100° fino alle più alte temperature. Per ciascuna di tali misure è d' uopo usare uno strumento diverso.

Tra 0 e 100°.—Lo strumento è composto di due tubi barometrici posti l' uno vicino all'altro e immersi nella stessa vaschetta (*fig.* 215, tav. 10). Il primo di questi tubi è un perfetto barometro, il secondo è un barometro a vapore, vale a dire un barometro sul quale si è fatta passare una colonna d'acqua, che si è in parte convertita in vapore nel vôto. I due tubi anzidetti sono immersi in un vase di vetro molto profondo, mercè l' asta di ferro *f*; all' acqua del vase si fanno prendere diverse temperature: la temperatura di questa sarà anche la temperatura del perfetto barometro, del barometro a vapore, e del vapore medesimo che formasi al sommo di questo: cotesta temperatura si osserva con un termometro convenien-

temente situato. Per conoscere la forza elastica di questo vapore corrispondente a ciascun grado, sarà sufficiente osservare la depressione del barometro a vapore, paragonandola al perfetto barometro, il che si può agevolmente eseguire per mezzo d'una scala, di metallo, divisa, la quale si adatta tra i due tubi. Questa depressione ridotta a 0 esprime la vera tensione del vapore. Fu questo il semplicissimo metodo immaginato da Dalton di Manchester nel 1805 per istudiare i vapori del quale si giovò per dare finalmente la vera teorica della formazione ed elasticità dei medesimi.

Al di sotto di 0.—Anche il ghiaccio svapora come l'acqua; e nelle figure 210 e 211, tav. 10 si vede uno strumento proprio per far conoscere la forza elastica del vapore a diverse temperature al di sotto di zero. Cotesto strumento è analogo al precedente (*fig.*209, t.10): soltanto i due barometri a vapore d'acqua e di alcool son curvati per essere immersi coi loro estremi in un miscuglio refrigerante. In tal guisa il volume dei vapori che sono nello spazio barometrico si divide in una parte fredda, la cui temperatura è nota, ed in un'altra che trovasi alla temperatura dell'ambiente; e però, secondo il principio antecedentemente fermato, il massimo di tensione che avrà il vapore sarà corrispondente a quello che compete alla temperatura del miscuglio. Con questa esperienza si vede anche come l'equilibrio di elasticità si compone; imperciocchè vedesi, per esempio, la piccola colonna d'acqua che sta sul mercurio sempre più diminuire fino a dileguarsi del tutto: essa dileguasi perchè il vapore che dà, avendo in sul suo nascere una forza elastica maggiore di quella del vapore, già raffreddato all'estremo del tubo, non è impedita, e quindi a sua posta va a condensarsi e congelarsi nello spazio freddo; talvolta la prontezza dell'evaporazione è tale da far che la piccola colonna d'acqua si geli sul mercurio, ed allora si dilegua dopo lunghissimo tempo. La depressione si osserva come nel caso precedente.

Al di sopra di 100°. — Per conoscere che al di sopra di 100° la forza elastica del vapore è maggiore di una pressione atmosferica, si può fare uso di un semplice tubo ricurvo (*fig.*206, t.10) il cui braccio corto sia chiuso in *s*: questo tubo si empie di mercurio fino alla metà dell'altezza del braccio aperto, e si fa passare in *s* una piccola colonna d'acqua: dopo, l'anzidetto tubo si tuffa in un bagno d'olio la cui temperatura sia maggiore di 100°; tosto si formerà il vapore, e la sua forza elastica sarà eguale ad una pressione atmosferica, più la differenza di livello del mercurio contenuto nelle due braccia del tubo. Ma per misurare con precisione la forza elastica del vapore quando eguaglia più atmosfere, con le corrispondenti temperature, molte difficoltà son da superarsi. La scienza non avea sul proposito che alcuni dati vaghi ed incerti, allorchè Arago e Dulong per commissione dell'Accademia delle Scienze si fecero a determinare la forza elastica del vapore d'acqua fino alle maggiori pressioni delle quali si fa uso nelle applicazioni dell'industria. Questo grande lavoro fu terminato nel 1830: prima di qui riportarne i risultamenti, giova dare un'idea dei mezzi adoperati per conseguirli.

Produzione del vapore.—Il vapore si forma in una forte caldaja di lamina di ferro *e* (*fig.* 220, tav. 10), contenente circa 80 litri di acqua. Nella sua parte cilindrica, che è la più sottile, essa ha 13 millimetri di spessezza. La stessa figura rappresenta il fornello *f*, la graticola *g*, ed il canale *t* per lo quale esce il fumo.

Misura delle temperature. — Due canne di schioppo *e* ed *r* saldate al coverchio, aperte sopra, chiuse sotto e piene di mercurio, sono ordinate ad indicare le temperature dell'acqua e del vapore. Entro al mercurio contenuto in queste canne son fissati dei termometri, le aste dei quali piegandosi orizzontalmente nell'uscire dalle anzidette canne son tenute ad una temperatura costante, mercè una corrente di acqua. Tutto questo vedesi alquanto più in grande nella figura 217, tav. 10.

Misura delle tensioni. — Il vapore formato al di sopra dell'acqua ad una temperatura nota, s'innalza per lo piccolo tubo verticale *bb'*, venendo ad esercitare la sua pressione in *u*, sulla cima cioè della colonna di acqua che riempie il tubo inclinato *udh*, e tutta la parte di sopra del vaso manometrico *vv'*. Cotesta pressione passa sulla superficie *ss'* del mercurio, e da ultimo all'aria del manometro *mm'*, il quale è lo stesso di quello che descrivemmo innanzi (*fig.*113, t.10). Conoscendosi la pressione corrispondente ad una data posizione della cima della colonna di mercurio contenuta nel manometro, si potrà dedurne la forza elastica del vapore. Si debbono solamente fare due correzioni: una che ha per oggetto la pressione dovuta all'altezza verticale della colonna d'acqua, considerata dalla sua cima *u* sino alla sua base *ss'*, ed un'altra risguardante la varia altezza cui trovasi il mercurio nel vase *vv'*. Affinchè tali correzioni si potessero fare con giustezza, si accomoda alla parte inferiore del vase *vv'* un tubo di vetro *nn'*, il quale comunica

anche col tubo *udh*, e nel quale si può il livello del mercurio osservare mercè il *corsoio* che scorre sulla riga verticale *z*.

A misura che il vapore giunge in *u*, si condensa e ricade nella caldaja; ma da ciò nessun errore può seguire. perciocchè si usa la diligenza di tenere il tubo *udh* ad una temperatura costante nella sua lunghezza *ud* per mezzo d' una corrente d' acqua.

Arago e Dulong hanno così direttamente determinata la forza elastica del vapore fin sotto la pressione di 24 atmosfere. Essi hanno poi conosciuto le relazioni fra le temperature e le corrispondenti forze elastiche poter essere espresse con molta approssimazione dalla formola

$$f = (1 + 0,7153t)^5 :$$

f dinota la forza elastica espressa in atmosfere, e *t* indica le temperature al di sopra di 100°, espresse col prendere l'intervallo di 100° per unità.

Così per conoscere la forza elastica corrispondente, per esempio, alla temperatura di 136°, sarebbe d' uopo fare $t = 0,36$.

I quattro seguenti quadri contengono i risultamenti dell' osservazione e del calcolo.

Il primo si estende da $-20°$ fino a 100° centigradi, secondo l' osservazione;

Il secondo da 1 a 24 atmosfere, secondo l'osservazione, e da 24 a 50 secondo il calcolo;

Il terzo da 100 a 1000 atmosfere secondo il calcolo;

Il quarto risulta dalle osservazioni e dai calcoli di Regnault (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. XI, p. 273). Esso conferma in modo osservabile l' esattezza generale de' numeri contenuti nel primo. Regnault, dopo avere sperimentate le diverse formole d' interpolazione che sono state proposte, dà la preferenza alla seguente:

$$\log e = a + b\,\alpha^t + c\,\beta^t,$$

che il Biot aveva indicata nel 1833, ed impiegate quindi alcuni anni dopo (*ved. Connaissance des temps pour 1839*, e *Comptes rendus de l' Académie des Sciences*, t. XXII, pag. 250).

La forza elastica *e* è data pel suo logaritmo; le temperature *t* son valutate in gradi centigradi, e le cinque costanti *a*, *b*, *c*, *α*, *β* si determinano con cinque osservazioni fatte a convenienti intervalli, come a cagion d'esempio a 0°, 25°, 50°, 75°, 100°.

TAVOLA PRIMA

Forze elastiche del vapore dell' acqua da—20° a 100° C.

GRADI del termometro centigrado	TENSIONE del vapore in millimetri	PRESSIONE sopra un cent. quadr. in chilogr.	GRADI del termometro centigrado	TENSIONE del vapore in millimetri	PRESSIONE sopra un cent. quadr. in chilogr.
gradi	mm	chil.	gradi	mm	chil.
— 20	1,333	0,0018	49	84,370	0,11662
— 15	1,879	0.0026	50	88,743	0,12056
— 10	2,631	0,0036	51	93,801	0.12676
— 5	3,660	0,0050	52	98,075	0,13325
0	5,059	0,0069	53	103,060	0,13999
1	5,393	0.0074	54	108,070	0.14710
2	5,748	0,0078	55	113,710	0,15449
3	6.123	0,0984	56	119,390	0,16220
4	6,523	0.0089	57	125,310	0,17035
5	6,947	0,0094	58	131,500	0,17866
6	7,396	0,0101	59	137,940	0.18736
7	7,871	0,0107	60	144,660	0,19653
8	8,375	0,0114	61	151,700	0,20610
9	8,909	0,0122	62	158,960	0,21586
10	9,475	0,0129	63	165,560	0,22639
11	10,074	0,0137	64	174.470	0,23758
12	10,707	0.0146	65	182.710	0.24823
13	11,378	0.0155	66	191,270	0,25986
14	12,087	0,0165	67	200,180	0,27196
15	12,837	0.0170	68	209,440	0,28434
16	13,630	0.0186	69	219,060	0,29761
17	14,468	0,0197	70	229.070	0,31121
18	15,353	0,0200	71	239,450	0.32532
19	16,288	0 0222	72	250.230	0,33996
20	17,314	0,0235	73	261,430	0,35518
21	18,317	0,0250	74	273,030	0,37094
22	19,447	0,0265	75	285,070	0,39632
23	20,577	0,0281	76	297,570	0,40428
24	21,805	0,0297	77	310,490	0,42184
25	23,090	0,0314	78	423,890	0,44004
26	24,452	0,0334	79	337,760	0,45888
27	25,881	0,0353	80	352,080	0,47834
28	27,390	0,0374	81	367,000	0,49860
29	29,045	0,0396	82	382,380	0,51950
30	30 643	0,0418	83	398.280	0,54110
31	32,410	0,0440	84	414,730	0,56345
32	34,261	0,0465	85	431,710	0,58652
33	36,188	0,0492	86	449,260	0,61036
34	38,254	0.0520	87	467,380	0,63498
35	40,404	0,0549	88	486.090	0,66040
36	42,743	0.0581	89	505,380	0,68661
37	45 038	0,0612	90	525,28	0,71364
38	47,759	0,0646	91	547,80	0,74152
39	50,147	0,0681	92	566.95	0,77026
40	52,998	0,0720	93	588,74	0,79986
41	55,772	0,0758	94	611.18	0.83035
42	58,792	0,0799	95	634.27	0,86172
43	61,958	0,8418.	96	658,05	0,89402
44	65,627	0.08916	97	682,59	0,92736
45	68,751	0.09340	98	707.63	0,96138
46	72,393	0.09835	99	733,46	0,99448
47	76,205	0,1035	100	760,00	1,03253
48	80,195	0,10000			

TAVOLA SECONDA

FORZE elastiche espresse in atmosfere di 76 centrimetri di mercurio	TEMPERATURE corrispondenti date dal termometro centigrado a mercurio	PRESSIONE sopra un centimetro quadrato in chilogram.	FORZE elastiche espresse in atmosfere di 76 centrimetri di mercurio	TEMPERATURE corrispondenti date dal termometro centigrado a mercurio	PRESSIONE sopra un centimetro quadrato in chilogram.
1	100	1,033	13	193,7	13,429
1 1/2	112,2	1,549	14	197,19	14,462
2	121,4	2,066	15	200,48	15,495
2 1/2	128,8	2,582	16	203,60	16,528
3	135,1	1,099	17	306,57	17,561
3 1/2	140,6	3,615	18	209,4	18,594
4	145,4	4,132	19	212,1	19,627
4 1/2	149,06	4.648	20	214,7	20,660
5	153,08	5,165	21	217,2	21,693
5 1/2	156,8	5.681	22	219,6	22,726
6	160,2	6,198	23	221,9	23,759
6 1/2	163,48	6,714.	24	224,2	24,792
7	166,5	7.231	25	226,3	25,825
7 1/2	169,37	7,747	30	236,2	30,990
8	172,1	8.264	35	244,85	36,155
9	177,1	9.297	40	252,55	41,320
10	181,6	10,33	45	259,52	46,485
11	186,03	11,363	50	265,89	51,650
12	190,0	12,396			

TAVOLA TERZA

FORZE elastiche espresse in atmosfere	TEMPERATURE corrispondenti	PRESSIONE sopra un centimetro quadrato in chilogrammi.	FORZE elastiche espresse in atmosfere	TEMPERATURE corrispondenti	PRESSIONE sopra un centimetro quadrato in chilogrammi.
100	311,36	103,3	600	462,71	619,8
200	363,58	206,60	700	478,45	723,1
300	397,65	309,90	800	492,47	826,4
400	423,57	413,20	900	505,16	929,7
500	444,70	516,50	1000	516,76	1033,0

Sembra assai verisimile che la formola, mercè la quale sonosi formate le tavole precedenti, rappresenti con molta approssimazione le tensioni e le corrispondenti temperature fino a 50 atmosfere.

TAVOLA QUARTA

Secondo Regnault, da —32° a +100.

TEMPERATURA in gradi centigradi	FORZA ELASTICA in millimetri di mercurio	DIFFERENZE	TEMPERATURA in gradi centigradi	FORZA ELASTICA in millimetri di mercurio	DIFFERENZE
— 32	0 31		21	18 50	1 10
31	0 34	0 03	22	19 66	1 16
30	0 36	0 03	23	20 89	1 23
29	0 40	0 03	24	22 18	1 30
28	0 43	0 03	25	23 55	1 37
27	0 47	0 04	26	24 99	1 44
26	0 51	0 04	27	26 51	1 52
25	0 55	0 04	28	28 10	1 60
24	0 60	0 05	29	29 78	1 68
23	0 65	0 05	30	31 55	1 77
22	0 71	0 06	31	33 41	1 86
21	0 77	0 06	32	35 36	1 95
20	0 84	0 07	33	37 41	2 05
19	0 92	0 07	34	39 57	2 15
18	1 00	0 08	35	41 83	2 26
17	1 08	0 09	36	44 20	2 37
16	1 18	0 10	37	46 69	2 49
15	1 28	0 10	38	49 30	2 61
14	1 40	0 11	39	52 04	2 74
13	1 52	0 12	40	54 91	2 87
12	1 66	0 13	41	57 91	3 00
11	1 80	0 15	42	61 06	3 15
10	1 96	0 16	43	64 35	3 29
9	2 14	0 17	44	67 79	3 44
8	2 33	0 19	45	71 39	3 60
7	2 53	0 21	46	75 16	3 77
6	2 76	0 23	47	79 09	3 94
5	3 00	0 25	48	83 20	4 11
4	3 27	0 27	49	87 50	4 30
3	3 55	0 28	50	91 98	4 48
2	3 88	0 33	51	196 66	4 70
1	4 22	0 35	52	101 54	4 88
0	4 60	0 38	53	106 64	5 09
+1	4 94	0 34	54	111 95	5 31
2	5 30	0 36	55	117 48	5 53
3	5 69	0 39	56	123 24	5 77
4	6 10	0 41	57	129 25	6 01
5	6 53	0 44	58	135 51	6 25
6	7 00	0 46	59	142 02	6 51
7	7 49	0 49	60	148 79	6 78
8	8 02	0 53	61	155 84	7 05
9	8 57	0 56	62	163 17	7 33
10	9 17	0 59	63	170 79	7 63
11	9 79	0 63	64	178 71	7 92
12	10 46	0 67	65	186 95	8 23
13	11 16	0 71	66	195 50	8 55
14	11 91	0 75	67	204 38	8 88
15	12 70	0 79	68	213 60	9 22
16	13 54	0 84	69	223 17	9 57
17	14 42	0 89	70	233 09	9 93
18	15 36	0 94	71	243 39	10 30
19	16 35	0 99	72	254 07	10 68
20	17 39	1 05	73	265 15	11 07

TEMPERATURA in gradi centigradi	FORZA ELASTICA in millimetri di mercurio	DIFFERENZE	TEMPERATURA in gradi centigradi	FORZA ELASTICA in millimetri di mercurio	DIFFERENZE
74	276 62	11 48	88	486 69	18 47
75	288 32	11 89	89	505 76	19 07
76	300 84	12 32	90	525 45	19 69
77	313 60	12 76	91	545 78	20 33
78	326 81	13 21	92	566 76	20 98
79	340 49	13 68	93	588 41	21 65
80	354 64	14 16	94	610 74	22 33
81	369 29	14 61	95	633 78	23 04
82	384 44	15 15	96	657 54	23 76
83	400 10	15 67	97	682 03	24 49
84	416 30	16 20	98	707 28	25 25
85	433 04	16 74	99	733 31	26 03
86	450 34	17 30	100	760 00	26 70
87	468 22	17 88			

145. *Tensione dei vapori dei diversi liquidi.* — Nelle tavole precedenti si osserva il vapore dell'acqua in ebollizione avere tal forza elastica da porsi in equilibrio con una pressione atmosferica: questa è una proprietà comune ad ogni generazione di vapori, perciocchè la forza elastica dei vapori, che si formano per ebollizione, è sempre eguale alla pressione che opera sulla superficie del liquido; conciossiachè se essa fosse minore, non si potrebbe formare il vapore, nè mantenersi a bolle in mezzo alla massa liquida; e se l'anzidetta forza fosse maggiore, il vapore sarebbe formato prima, non essendovi una ragione per la quale non si debba formare dal momento in cui abbia una forza sufficiente a vincere la pressione. I vapori di tutti i liquidi formati nel tempo dell'ebollizione hanno la stessa forza di elasticità, ed il Dalton pensò, che andando per egual numero di gradi sotto o sopra del punto di ebollizione, le forze elastiche re sterebbero tuttavia eguali. Laonde, mercè la *legge del Dalton* e la tavola delle tensioni dei vapori dell'acqua, basterebbe avere il punto di ebollizione di un liquido o la tensione del suo vapore ad una temperatura qualunque, per poter determinare la sua tensione a tutte le possibili temperature. L'alcool per esempio avendo il suo punto di ebollizione a 78°, la tensione del suo vapore al 113°, cioè a 35° al di sopra del suo punto di ebollizione, sarebbe la stessa di quella del vapore di acqua a 135°, e perciò di 2280mm o di 3 atmosfere, ed a 0, cioè a 78° al di sotto del suo punto di ebollizione, la tensione sarebbe la stessa di quella del vapore dell'acqua a 100 — 78, ossia a 22°, e però di 19mm, 417. Ma dalle osservazioni di parecchi fisici risulta, questa legge non essere del tutto vera, e condurre in errore particolarmente ne'casi di temperature molto lontane dal punto di ebollizione; onde se ci torna comodo servircene quando possiamo essere paghi di risultamenti approssimativi, è mestieri abbandonarla se ci piace di averne assai giusti. È dunque a desiderare che i fisici distendano, almeno pei liquidi più comuni, delle tavole delle forze elastiche simili a quella delle tensioni del vapore aqueo.

146. *Densità del vapore aqueo.* — Fra tutt'i mezzi finora adoperati per conoscere la densità dei vapori dell'acqua, quello ideato da Gay-Lussac sembra essere il più semplice ed il più giusto; questo consiste nel cercare direttamente il peso, il volume, la temperatura e la tensione di una data quantità di vapore. E per avere tutto ciò si fa uso dell'apparato espresso nella fig. 207, tav. 10: *f* è un fornello sul quale è messa la caldaia *c* di ferro fuso, il cui lembo *b* è lavorato in guisa da formare un piano, il quale riducesi orizzontale mercè una livella; *g* è una campana graduata alta tre o quattro decimetri, immersa nel mercurio contenuto nella caldaja; *m* è un cilindro di vetro in cui si versa un liquido, il quale circonda la campana in tutta la sua altezza, cominciando dal livello esterno del mercurio, e che ne copre la sommità; *r* è una riga che si pone in sito verticale mercè la traversa *t*, la cui faccia piana si appoggia sul lembo orizzontale della caldaia. La campana è piena di mercurio bollito, ed in essa si fa entrare una piccola ampolla *a* di vetro, chiusa da ambe le parti e piena quasi interamente di acqua. Si pongono i carboni sotto alla caldaia, ed allora il mercurio, l'ampolla e l'acqua del cilindro gradatamente si riscaldano, e vari termo-

metri ne fan conoscere in ogni istante la temperatura. Giunge un momento in cui l'ampolla si rompe per effetto della dilatazione dell'acqua che essa contiene, si forma il vapore sulla campana, ed il mercurio si abbassa: allora s' innalza la temperatura fino a che l'acqua non siasi tutta convertita in vapore, il che è una condizione necessaria, e poi si mantengono le cose in questo modo per poter fare le osservazioni.

1°. Poichè l'acqua si è convertita tutta in vapore, si conoscerà di questo il peso, perciocchè si ebbe cura di pesare l'ampolla piena e vuota; e però il peso dell'acqua, e quindi quello del vapore, sarà la differenza di questi due pesi.

2°. Osservando il numero delle divisioni della campana occupate dal vapore, e sapendosi la capacità di ognuna di queste per la temperatura 0°, si potrà facilmente conoscere per mezzo della dilatazione del vetro la capacità considerata alla temperatura nella quale si fa l'esperienza, e si saprà così il volume reale del vapore.

3°. I termometri indicano la temperatura del liquido contenuto nel cilindro, e quella dell'acqua ridotta in vapore nella campana.

4°. Finalmente la tensione del vapore si osserva mercè la riga *r*. Essa si fa da prima salire o scendere, fino a che la sua punta inferiore tocchi la superficie del mercurio contenuto nella caldaia, e dopo si fa scorrere l'*esploratore* v, fino a che il raggio visuale passi rasente la cima della colonna del mercurio contenuto nella campana. La distanza che passa tra la punta e l'esploratore sarà l'altezza della colonna elevata: ridotta questa a 0, si toglie dall'altezza che nello stesso tempo segna il barometro, ridotto anche alla temperatura 0, e la differenza esprimerà la depressione della colonna barometrica, ovvero la forza elastica del vapore. Se cotesta forza fosse troppo prossima al massimo di tensione, per la temperatura alla quale si fa l'esperienza, si ha tutta la ragione di sospettare che sia rimasto qualche poco d'acqua non ben ridotta in vapore, e però converrà aumentare il fuoco acciocchè si rimuova questo pericolo di errore.

Conoscendo in tal guisa il peso di un dato volume di vapore ad una temperatura e sotto una pressione conosciuta, se ne potrà di leggieri dedurre il peso di un centimetro cubico, ossia il peso specifico per le condizioni dell'esperienza, cioè alla temperatura t e sotto una pressione h. Supponendo che i vapori ubbidiscano alla legge di Mariotte e che abbiano un costante coefficiente di dilatazione, se ne deduce il peso specifico del vapore ad una temperatura t' e sotto un'altra pressione h'. E per fermo esprimendo con π il peso specifico trovato per esperienza alla temperatura t e sotto la pressione h; e con π' quello che corrisponde alla temperatura t' ed alla pressione h', allora si avrà

$$\pi' = \pi \frac{h'(1+at)}{h(1+at')}.$$

π e π' essendo espressi in grammi, il volume corrispondente ad un grammo ed espresso in centimetri cubici sarà:

$$v' = \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{h(1+at')}{h'(1+at)}.$$

Siccome π' rappresenta il peso specifico del vapore per rispetto all'acqua, v' rappresenta il volume del vapore per rispetto al volume dell'acqua, perocchè esso rappresenta in centimetri cubici il volume di un grammo di vapore.

Con questa formola appunto Gay-Lussac ha trovato che alla temperatura di 100°, e sotto la maggior pressione di un'atmosfera o di 76c, il volume del vapore aqueo è 1698 volte o in numero rotondo 1700 volte quello dell'acqua, essendo questa presa al massimo di densità.

La densità teorica 0,622 che abbiam trovata (133 ter.), conduce al numero 1692 che differisce ben poco da 1698, perchè si possa conchiudere che due volumi d'idrogeno ed un volume d'ossigeno diano in realtà due volumi di vapore d'acqua. Ma è forza por mente, siccome abbiamo avvertito, che la densità relativa de' due fluidi elastici non è costante per tutte le temperature e per tutte le pressioni, se non che quando la legge di Mariotte si applica con la stessa esattezza ai due fluidi; ed i coefficienti di dilatazione restino invariabili o variino secondo la stessa legge. Egli è dunque da presumere che calcolando la densità del vapore aqueo mercè le antecedenti formole, siccome abbiam fatto per le tavole che seguono, siam giunti a numeri i quali debbonsi tenere come espressioni di densità teoriche: quando le densità effettive saranno per esperienza determinate, si troveranno forse delle considerabili aberrazioni specialmente per le molto forti pressioni. V'ha intanto un fatto non dubbio ed è, che la densità del vapore preso al massimo di tensione va crescendo rapidamente col crescere della temperatura; dal che segue doversi giungere ad un certo grado di riscaldamento in cui il vapore deve avere una densità, che pochissimo diffe-

risce da quella del liquido. Questa conseguenza è stata verificata e renduta sensibile con una piacevole sperienza di Cagniard de la Tour. Un cannello di vetro a grosse pareti entro di cui si pone dell'acqua, da occuparne circa la quarta parte, ed indi privato d'aria e poi chiuso; si espone ad una temperatura che cresca gradatamente; si giunge ad un punto in cui l'acqua pare che sparisca ed il cannello sembra vuoto; ma col raffreddamento il liquido tosto ricomparisce. Si potrebbe con queste alternative di apparizioni e disparizioni crearsi un piacevole spettacolo, se non si avesse a temere di pericolose esplosioni.

Ad una temperatura prossima a quella della fusione dello zinco, l'acqua si converte perfettamente in vapore in uno spazio quasi quadruplo del suo volume allo stato liquido; essa opera in pari tempo sul vetro, togliendogli la trasparenza, perchè certamente discioglie alcuno de'suoi componenti. Quindi si può presumere che alla temperatura dell' incandescenza, la densità del vapore aqueo al suo massimo di tensione poco differisce da quella dell'acqua allo stato liquido, e che esso allora abbia una forza espansiva di parecchie centinaia e forse anche di parecchie migliaia di atmosfere.

TAVOLA PRIMA

Densità e volume del vapore aqueo al massimo di tensione , prendendo per unità il volume e la densità dell'acqua a 0.

Da — 20° a 100°

Temperatura	Tensione	Densità	Volume	Temperatura	Tensione	Densità	Volume
gr.	mm.			gr.	mm.		
— 20	1,333	0,00000154	650588	31	32,410	3097	32291
— 15	1,879	212	470898	32	34 261	3263	30650
— 10	2,631	292	342984	33	36,188	3435	29112
— 5	3,660	398	251358	34	38,254	3619	27636
0	5,059	540	182123	35	40,404	3809	26253
1	5,393	573	174495	36	42,743	4017	24897
2	5,748	609	164332	37	45,038	4219	23704
3	6,121	646	154842	38	47,579	0,00004442	22513
4	6,523	686	145886	39	50,147	4666	21429
5	6,947	727	137488	40	52,998	4916	20343
6	7,396	772	129587	41	55,772	5156	19396
7	7,871	818	122241	42	58,792	5418	18469
8	8,375	867	115305	43	61,958	5591	17572
9	8,909	919	108790	44	65,627	6023	16805
10	9,475	974	102670	45	68,751	6274	15938
11	10,074	0,00001032	99202	46	72,393	6585	15185
12	10,707	1092	91564	47	76 205	6910	14472
13	11,378	1157	86426	48	80,195	7242	13809
14	12,087	1224	81686	49	84,370	7602	13154
15	12,837	1299	77008	50	88,742	7970	12546
16	13,630	1372	72913	51	93,301	8354	11971
17	14,468	1451	68923	52	98,075	8753	11424
18	15,353	1534	65201	53	103,060	9174	10901
19	16,288	1622	61654	54	108,270	9606	10410
20	17,314	1718	58224	55	113,710	0,00010054	9946
21	18,317	1811	55206	56	119,340	10525	9501
22	19,417	1914	52260	57	125,310	11011	9082
23	20,577	2021	49487	58	131,500	11523	8680
24	21,805	2133	46877	59	137,940	12044	8303
25	23,090	2252	44411	60	144,660	12599	7937
26	24,452	2376	42084	61	151,700	13179	7594
27	25,881	2507	39895	62	158,960	13760	7267
28	27,390	2643	37838	63	166 560	14374	6957
29	29,044	2734	35796	64	174,470	15010	6662
30	30,643	2938	34041	65	182,710	15668	6382

Temperatura	Tensione	Densità	Volume	Temperatura	Tensione	Densità	Volume
gr.	mm.			gr.	mm.		
66	191,270	16356	0114	84	414,730	33637	2973
67	200,180	17060	5860	85	431,710	34916	2804
08	209,440	17797	5619	86	449,260	30237	2760
09	219,060	18566	5386	87	467,380	37590	2660
70	229,070	19355	5167	88	486,090	38984	2565
71	239,450	20174	4957	89	503,380	40417	2474
72	250,230	21013	4759	90	525,280	41891	2387
73	261,430	21889	4509	91	543,800	0,00043405	2304
74	273,030	22794	4387	92	566,950	44956	2224
75	285,070	23789	4204	93	588,740	46556	2148
76	297,570	24702	4048	94	611,180	48201	2075
77	310,490	25699	3891	95	634,270	49886	2005
78	323,890	26739	3741	96	058,030	51613	1938
79	337,700	27789	3599	97	682,390	53388	1873
80	352,080	0,00028889	3462	98	707,630	55191	1812
81	307,000	30025	3331	99	733,460	57035	1751
82	382,380	31195	3206	100	760,000	58955	1696
83	398,280	32399	3087				

TAVOLA SECONDA

Densità e volume del vapore aqueo al massimo di tensione, prendendo per unita la densità ed il volume dell' acqua liquida a 0.

Da 1 a 24 atmosfere secondo l' osservazione;
E da 24 a 50 secondo la formola empirica

Temperature	Forze elastiche espresse in atm.	Densità	Volume	Temperature	Forze elastiche espresse in atm.	Densità	Volume
100	1	0,0005895	1696	193.7	13	0.006107	163.74
112,2	1 1/2	0,0008363	1107.8	197.2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0.0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2 1/2	0.0013073	731,39	203 6	16	0,007359	135.90
135 1	3	0 0016150	619,19	206 6	17	0,007769	128.71
140 6	3 1/2	0.0018589	537,96	209.4	18	0.008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212.1	19	0,008583	110,51
149,1	4 1/2	0.0023410	427.18	214.7	20	0.008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,10	217.2	21	0,009387	106,53
156,8	5 1/2	0,0028091	355,99	219.0	22	00,09785	102,19
160,2	6	0.0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98.21
163,5	6 1/2	0,0032683	205,98	224,2	24	0.010575	94,56
166,5	7	0.0034911	280,12	226,3	25	0,010868	91.17
169.4	7 1/2	0,0037217	268,82	230,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244.8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252.5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048220	207,30	259.5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,31
190,0	12	0,0056834	175,96				

TAVOLA TERZA

Densità e volume del vapore aqueo al massimo di tensione, prendendo per unità il volume e la densità dell' acqua a 0.

Da 100 a 1000 atmosfere secondo la formola empirica

Temperature	Forze elastiche espresse in atm.	Densità	Volume	Temperature	Forze elastiche espresse in atm.	Densità	Volume
311,36	100	0,037417	26,72	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068638	14,570	478,43	700	0,20318	4,921
397.63	300	0,097671	10.238	492,47	800	0,2279	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505.16	900	0,2522	3,963
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

146. *bis.* *Densità de' vapori di varie sostanze.* V. la tavola delle densità, pag. 148.

Le densità dei vapori di tutt' i liquidi non possono essere determinate con quello stesso metodo adoperato per lo vapore dell' acqua; ma riconosciamo dal Dumas un altro metodo del quale egli si è giovato con riuscita, in un importante lavoro pubblicato sul proposito (*Ann. de Physique et de Chimie*, t. 33, pag. 327). Prende egli un recipiente rotondo con collo assottigliato (*fig.* 222, *tav.* 10), e vi pone entro una sufficiente quantità di quel liquido che vuol sottoporre all'esperienza, poi riscalda cotesto recipiente in un bagno d' acqua, di acido solforico, o di una lega fusibile. Quando il liquido comincia a bollire, ne modera la temperatura e procura per quanto è possibile di riscaldare egualmente la superficie del recipiente, non escluso il collo del medesimo. Finita l'ebollizione, continua a riscaldare il recipiente con le stesse avvertenze, fino ad una temperatura alquanto più alta: allora osservata con accuratezza la temperatura e l' altezza del barometro, chiude, in un attimo alla lucerna, la sottilissima punta del collo del recipiente. Ecco ora la serie delle operazioni che ci guidano a conoscere le densità che si cercano.

1° Dopo di aver preparato il globo, e prima di porvi dentro il corpo solido o liquido, sul quale si vuol fare l' esperienza, si asciuga bene e si pesa esattamente tenendolo aperto; sia b il suo peso, d il peso dell' aria spostata e c il peso dell' aria che contiene, si avrà per lo peso della materia del globo

$$b+d-c.$$

2° Quando, dopo la evaparazione di tutto l' eccesso del corpo che contiene, il globo è stato chiuso, raffreddato, tolto dal bagno, lavato ed asciugato, si pesa di nuovo; supponiamo che b' dinoti il suo peso, d' quello dell' aria spostata, c' il peso di ciocchè contiene, si avrà eziandio per lo peso della materia det globo

$$b'+d'-c'$$

donde $c'=b'-b+d'-d+c$.

Siccome le due pesate non possono farsi immediatamente l' una dopo l'altra, così se d' si trovi molto diversa da d, si dovrà tener conto della differenza $d'-d$; il che sara agevole, perocchè si conosce il volume esterno del globo, mercè la densità del vetro e la misura della capacità di cui si parlerà, ed anche perchè la pesata bisogna che sia fatta in aria molto secca, affinchè si possa trascurare l'efficacia del vapore igrometrico.

Il valore di c si trova mercè la capacità del globo e con la temperatura e la pressione del momento della prima esperienza; laonde possiamo considerare c' come perfettamente conosciuto.

3° Il peso c' generalmente è composto di due parti: della materia volatilizzata e di una certa quantità di aria che non è stata espulsa con l'ebollizione; per detrarre il peso di quest' aria, si prende il globo dopo la seconda pesata, se ne tuffa la punta in un bagno di mercurio ed ivi essa si rompe; tosto il mercurio riempirà il globo, tranne lo spazio occupato dall' aria ch' era mescolata col vapore; allora si toglie una porzione del cannello assottigliato, fino a che l' apertura sia tale da poter far passare l' aria in un cannello graduato, per poterne conoscere il volume ad

una temperatura conosciuta e sotto una conosciuta pressione. Ciò fatto se ne calcola il peso, si toglie da c' e si avrà definitivamente il peso della sostanza ch' era contenuta nel globo quando fu chiuso.

Qui v' ha anche una correzione a fare, la quale è importante e pare che sia stata omessa da alcuni osservatori; quando è rimasta dell' aria col vapore, il suo peso essendo determinato nel modo come sopra è detto, conviene calcolarne la pressione per la temperatura alla quale il globo è stato chiuso, supponendo che mescolata col vapore lo riempia come questo: trovata questa pressione, si deve togliere dalla pressione barometrica per avere in ultimo la pressione del vapore. In tal modo si giunge a conoscere il peso c'_1 della sostanza svolta in vapore nel globo, la sua forza elastica h_1 e la sua temperatura t_1.

4° Resta solo a misurarsi la capacità del globo, il che ha un doppio scopo: perchè si ha così il volume del vapore, e si può anche calcolare c o sia il peso dell' aria ch'era contenuta nel globo, nel tempo della prima pesata.

L' anzidetta misura della capacità del globo si fa o mercè i volumi, o mercè i pesi, siccome di sopra è detto (135 bis). Si può a piacimento farlo prima o dopo dell' operazione: siccome la capacità del globo è per lo meno di 500 o di 600 centimetri cubici, così un errore anche di un centimetro non altererebbe gran fatto i risultamenti. Esprimiamo con v la capacità del globo ridotto a 0.

5° Fatte tutte queste operazioni, dinotiamo con ϖ' il peso specifico del vapore nelle condizioni dell' esperienza, e con ϖ il suo peso specifico a 0 sotto 76c, avremo

$$\varpi' = \frac{c'_1}{v(1+kt_1)}, \text{ e } \varpi' = \varpi \cdot \frac{h_1}{76} \cdot \frac{1}{1+at_1}$$

d' onde risulta finalmente

$$\varpi = \frac{c'_1}{v} \cdot \frac{76}{h_1} \cdot \frac{1+at_1}{1+ki_1}.$$

Per coloro che volessero applicare le formole noi ripeteremo i dati di un' esperienza fatta sul iodo dal Dumas.

107gr.,543 globo pieno d' aria secca a 24° e 0m,757

110gr.,025 id, pieno di vapore e di aria a 185° e 0,m757

661gr.,550 globo pieno di acqua a 22°.

Si troverà per la densità del iodo relativamente all'aria cioè per ϖ diviso per 0,0012995, il numero 8,7873, numero poco diverso da quello dato da Dumas, certo per qualche correzione fatta in altro modo.

I vapori di tutt'i liquidi, pervenuti al massimo di tensione, accrescono la loro densità col crescere delle temperature. Donde segue, ogni liquido ad una temperatura più o meno elevata, potere scomparire entro uno spazio poco più grande di quello occupato dal liquido. E il Cagniard de la Tour lo ha fatto vedere per l'alcool, l'etere ed il solfuro di di carbonio. Egli ha osservato anche a quale temperatura accade il fenomeno, ed ha misurato la forza elastica che il vapore in questo caso possiede. Il medesimo fece uso in queste sperienze di un tubo ricurvo alla foggia di un barometro a sifone. Il braccio corto nel quale era il liquido avea il diametro di 4 o 5 millimetri, ed il lungo, nel quale v'era l'aria, di un sol millimetro: il liquido e l'aria erano separati dal mercurio, versato anticipatamente nella curvatura del tubo, quando le sue braccia erano aperte; il mercurio spinto dalla pressione avrebbe potuto empire interamente il tubo ad aria. Le due braccia essendo chiuse, la colonna d'aria a mano a mano compressa faceva l' uffizio di manometro, da potere indicare la forza elastica del vapore; la temperatura poi era data dal bagno di olio fisso, nel quale immergevasi l'estremo inferiore dello strumento e tutto il braccio corto.

La totale conversione in vapore accade nelle congiunture e con le condizioni che seguono:

	Temperatura alle quali il liquido scomparisce	Volume del vapore rispetto al volume del liquido	Tensione del vapore in numero di atmosfere
Alcool (a 36° Beaumé)	259°	3	119atm.
Etere	200°	2	37
Solfuro di carbonio	275°	2	78

147. *Legge di Mariotte — Liquefazione dei gas.* — Oersterd e Despretz aveano fatto delle sperienze per vedere se la legge di Mariotte si applicasse perfettamente a' diversi gas come

all' aria atmosferica, ed aveano dimostrato che i gas, che facilmente si convertono in liquidi, hanno una compressibilità crescente. Oersted par che pensasse l'anomalia avverarsi presso al punto di liquefazione. Ma le sperienze di Despretz gli dimostrano che le anomalie incominciano con la compressione. Mi è sembrato necessario di ritornare sopra questo argomento. La legge di Mariotte è così capitale, che importa sapere quali sono i fluidi elastici che la seguono e quali ne abberrano.

Il mio strumento è rappresentato nella figura 223, tavola 10; esso è composto di due uguali cannelli di cristallo *a* e *b*, di due metri di lunghezza perfettamente calibrati, e fermati co'loro capi inferiori in un riserbatoio di ferro fuso *d* pieno di mercurio; un tubo di ferro *c* apre una comunicazione tra il riserbatoio *d* ed un altro *d'* anche in ferro fuso. In cima a questo è accomodato uno stantuffo ad immersione *e*, il quale scende e sale mercè la vite *f*, la quale porta sopra una traversa *g* ordinata a farla muovere. Il riserbatoio *d'* non è perfettamente pieno di mercurio; dalla parte di sopra v'ha uno spazio *h* che contiene dell'olio, dentro di cui scende l'anzidetto stantuffo.

Egli è chiaro che per tal modo è agevole, volgendo la vite, generare pressioni di parecchie centinaia di atmosfere, quantunque io siami fermato a 100 atmosfere, perchè è difficile accomodare i cannelli sul riserbatoio, in modo che si tengan fermi sotto molto più grandi pressioni.

L' interno diametro de' tubi era di 2 in 3 millimetri.

Prima della graduazione essi erano assottigliati alla parte di sopra, e potevasi per molte volte rompere e rifare la punta, senza arrecare sensibile cangiamento nelle divisioni. Appunto dalla parte di sopra facevasi entrare l' aria o i gas perfettamente secchi; indi chiudevansi col dardo della fiamma. I gas sopra i quali io ho operato furono con molta diligenza preparati da Favre e Silbermann, i quali mi hanno assistito in coteste sperienze.

Due catetometri, disposti l' uno al di sopra dell'altro, servivano ad osservare le divisioni cui il mercurio, contenuto ne' cannelli, sotto diverse pressioni giungeva.

Da principio i due cannelli manometrici erano pieni d' aria per poter fare una nuova verifica delle divisioni; indi rompendo la punta superiore di uno di essi si empiva questo di quel gas che volevasi sottoporre all' esperienza relativamente all' aria.

Ecco i principali risultamenti cui sono pervenuto:

1°. Fino a 100 atmosfere l' ossigeno, l' azoto, l' idrogeno, il biossido di azoto, e l' ossido di carbonio sieguono la stessa legge di compressione dell' aria atmosferica.

2°. Il gas solforoso, il gas ammoniacale, l' acido carbonico ed il protossido di azoto cominciano ad essere molto più compressibili dell'aria, da che il loro volume si è ridotto ad un terzo o ad un quarto, e non è a dubitare che per cangiamenti di volume anche minori non si possa mostrare ch' essi già si allontanano dalla legge di Mariotte.

3°. Il gas idrogeno protocarburato ed il gas idrogeno bicarburato, non si liquefanno sotto la pressione di 100 atmosfere, essendo la lor temperatura tra gli 8° e 10°, ed intanto hanno una compressibilità molto maggiore di quella dell' aria.

Per dare un' idea delle variazioni cui la compressibilità va soggetta, citerò solo una serie per ciascuno de'quattro gas che seguono: acido carbonico, protossido di azoto, idrogeno protocarburato, idrogeno bicarburato.

Pressioni	Volumi teorici	Acido carbonico	Protossido d' azoto	Idrogeno protocarburato	Idrogeno bicarburato
1 atm.	1	1	1	1	1
2	0.5	1	0,966	0,998	0,994
4	0,25	1	0,988	0,995	0,989
5	0,20	0,989	0,983	0,992	0,986
6,67	0,15	0,980	0,971	0,989	0,983
10	0.10	0,965	0,956	0,981	0,972
15,38	0,065	0,934	0,923	0,949	0,962
20	0,050	0,919	0,896	0,956	0,955
25	0,040	0,880	0,849	0,951	0,948
33,3	0,030	0.808	0,787	0,951	0,931
40	0,025	0,739	0,732	0,940	0,919
50	0,020	»	»	0,907	0,899
83	»	»	»	»	0,850

I numeri contenuti in questa tavola sono stati nel seguente modo ottenuti. Si è diviso il volume v' osservato sotto una certa pressione per lo volume v, ch' era dato dall' aria sotto la stessa pressione.

Si vede che questi quozienti vanno decrescendo pe' quattro gas de' quali è parola, con sufficiente regolarità.

L' acido carbonico s'è liquefatto a 45 atmosfere, essendo la temperatura a 10°; il protossido di azoto si è liquefatto a 43 atmosfere con la temperatura di 11°; il liquido appariva perfettamente limpido.

A 10° il gas ammoniacale si è liquefatto sotto 5 atmosfere; il liquido ha una tinta giallo-verdastra molto sensibile.

Ad 8° il gas solforico si è liquefatto sotto 2 atmosfere ed un mezzo.

In tutte le liquefazioni che ho avuto occasione di osservare è stato sempre possibile di aumentare di molto la pressione; senza che però la totalità del gas passasse allo stato liquido; e pure io ritengo come certo che nè aria nè alcun gas permanente fosse mescolato col gas sottoposto all' esperienza.

Thillorier ha congiunto il suo nome ad una importante sperienza: egli il primo è giunto ad ottenere in grandi masse l' acido carbonico allo stato liquido ed allo stato solido. Abbiamo qui innanzi veduto liquefarsi cotesto gas sotto una pressione di 45 atmosfere. Or se questo liquido si riponga in un riserbatojo molto resistente, e quindi lo si faccia a poco a poco uscire, aprendo una chiave di forma conveniente, si ottengono de' fiocchi, o piuttosto dei filamenti d' una bianchezza brillante, e che formano un ammasso simile al cotone. Nel punto in cui il liquido non sostiene che la sola pressione atmosferica, si vaporizza vivamente, ed il calorico latente che assorbe abbassa la temperatura al punto da produrre la congelazione della porzione rimasta. La sua temperatura, in effetti, è di 50 in 60° al di sotto di zero. L' acido carbonico solido, lasciato al contatto dell' aria non si liquefà menomamente, anche in un' atmosfera di 15 in 20° di calore; ma a poco a poco scomparisce, ed il calorico che gli vien fornito dai corpi circostanti, è portato via dalla semplice vaporizzazione.

Allorchè si ripone in un vase isolato un mezzo litro o un litro d' acido carbonico allo stato solido, e vi si versa quindi dell' etere solforico, si forma una maniera di pasta semifluida, la quale si conserva più lungamente che l' acido carbonico, e dà eziandio de' contatti più perfetti, sia col termometro che ne misura la temperatura, sia con i corpi che vi si fanno raffreddare. Su questa pasta appunto io feci altra fiata delle sperienze, e riferma (*Comptes rendus de l' Académie de Sciences, 1837, t. 4, pag. 513*):

1.° Che la sua temperatura osservata ad un pirometro ad aria, antecedentemente descritto (130 e 131) è di — 79°;

2.° Che la congelazione del mercurio, o meglio la sua fusione, si fa a — 40°, 5.

3.° Che i termometri ad alcool, graduati al diaccio in fusione, ed al mercurio in fusione, si muovono d' accordo col termometro ad aria;

4.° Che l' intensione della corrente elettrica, prodotta dal contatto del bismuto e del rame, è proporzionale alla temperatura, da 80° al di sotto di 0 sino a 100° al di sopra.

Faraday ha ultimamente pubblicato (*Ann. de Phys. et de Chim., t. 15, nov. 1845*) una nuova serie di importanti ricerche su la liquefazione e la solidificazione dei gas. Si è occupato principalmente a sottoporre cotali corpi ad una gagliarda compressione, e ad un considerevole raffreddamento ad un tempo. La compressione veniva prodotta da un sistema di due trombe di differente diametro, e il freddo il più intenso si otteneva, ponendo sotto la campana pneumatica la pasta d' acido carbonico e d' etere, qui innanzi descritta, e che esposta naturalmente all' aria, dà già una temperatura di 79 in 80° al di sotto di zero. I gradi di freddo, che in cotal modo produr si possono, dipendono dall' attività che si dà alla macchina, poichè riducendo di più in più la pressione, si agevola la vaporizzazione, e con essa il raffreddamento. Ecco le temperature in gradi centigradi e le pressioni corrispondenti, sotto la campana della macchina pneumatica, espresse in millimetri.

Temperatura	Pressione
— 77	721mm
— 80	493
— 85	239
— 87	188
— 91	137
— 95	86
— 99	61
— 107	35
— 110	30

Faraday non disse qual' era la temperatura dell' ambiente; ma, dall' aver egli dovuto ridurre la pressione a 492mm per ottenere — 80°, sono indotto a credere che la temperatura dell' ambiente era molto elevata, poichè io avevo

ottenuto questo grado di freddo, operando all'aria libera, in un mezzo ambiente che trovavasi da 3 in 4° al di sotto di zero.

A — 8°, sotto una pressione minore a quella d'un atmosfera, ha il Faraday ottenuto allo stato liquido, o allo stato solido i seguenti gas:

Cloro,	Idrogeno arsenicato,
Cianogeno,	Acido iodoidrico,
Ammoniaca,	Acido bromoidirco,
Acido solforico,	Acido carbonico.

Ecco i punti di fusione da lui osservati per i gas che han potuto essere solidificati.

Gas	Fusione
Cianogeno.	— 35°
Acido iodoidrico	— 51
Acido carbonico	— 58
Ossido di cloro	— 60
Ammoniaca	— 75
Acido solforoso	— 76
Acido solfoidrico	— 86
Acido bromoidrico	— 87
Protossido d'azoto	—100

I sei seguenti gas non han potuto essere solidificati, neppure alla temperatura di — 100°.

Gas oleificante
Acido fluosilicico
Idrogeno protofosforalo
Acido fluoborico
Acido cloroidrico
Idrogeno arsenicato.

I cinque gas ne' quali io avevo riconosciuta la stessa legge di compressibilità, come per l'aria, cioè l'idrogeno, l'ossigeno, l'ossido di carbonio, l'azoto e il biossido d'azoto, non han dato al Faraday segno alcuno di liquefazione, come dovevasi aspettare, e intanto li ha mantenuti ad una temperatura di — 100°: i due primi sotto la pressione di 27 atmosfere, sotto 50 i secondi, e sotto 40 l'ossido di carbonio.

La tavola seguente contiene le tensioni manifestate dai gas liquefatti, espresse in atmosfere, e le temperature corrispondenti espresse in gradi centigradi.

Temperatura	Gas oleificante	Acido carbonico	Protossido d' azoto	Gas cloro idrico	Gas solfo idrico	Idrogeno arsenicato
— 87,2	»	»	1,0	»	»	»
84,4	»	»	1,1	»	»	»
81,7	»	»	1,2	»	»	»
78,9	»	1,2	1,4	»	»	»
76,1	»	»	1,6	»	»	»
73,3	9,3	1,8	1,8	1,8	1,0	»
70,5	»	»	2,0	»	»	»
67,8	10,3	2,8	2,3	2,4	1,2	»
65,0	»	»	2,7	»	»	»
62,2	11,3	3,9	3,1	3,1	1,3	»
59,4	»	4,6	3,6	»	»	0,9
56,7	12,5	5,3	4,1	4,0	1,6	1,1
53,9	»	»	4,7	»	»	»
51,1	13,9	7,0	5,4	5,1	1,9	1,4
48,3	»	»	6,1	»	»	»
45,5	15,4	8,9	6,9	6,3	2,4	1.8
42,8	»	»	7,8	»	»	»
40,0	17,0	11,1	8,7	7,7	2,9	2,3
37,2	»	»	9,7	»	»	»
34,4	18,9	13,5	10,9	9,2	3,5	2.8
31,7	»	»	12,0	»	»	»
28,9	21,2	16,3	13,3	10,9	4,2	3,5
26,1	»	17,8	14,7	»	»	»
23,3	23,9	19,4	16,1	12,8	5,1	4,3
20,5	»	»	17,7	13,9	»	4,7
17,8	27,2	22,8	19,3	15,0	6,1	5,2
15,0	»	24,8	21,1	»	»	»
12,2	31,7	26,8	22,9	17,7	7,2	6,2
9,4	»	29,1	24,8	»	»	»
6,7	36.8	30,7	26,8	21,1	8,4	7,4
3,9	»	»	28,9	23,1	»	»
1,1	42,5	37,2	31,1	25,3	9,9	8,7
+ 1,7	»	»	33,4	»	»	»
4,4	»	»	»	30,7	11,8	10,0

Faraday ha ottenuto eziandio i risultamenti seguenti per tre dei gas, che più facilmente si liquefanno.

Temperatura	Gas solforoso atm.	Cianogeno	Ammoniaca
—18	0,7	1, 2	2, 5
0	1,5	2, 4	4, 4
+ 4,4	1,8	2, 8	5, 0
32	4,3	6, 2	11, 0
38	5,1	7, 3	»

CAPO III.

DE' VAPORI MESCOLATI CO' GAS

158. I liquidi, i quali non si combinano chimicamente, possono per qualche istante star mescolati insieme, ma poi tosto separansi scambievolmente, disponendosi l'uno sull'altro, secondo l'ordine delle loro densità, appunto come l'olio si dispone sull'acqua. Se i gas ed i liquidi avessero simili proprietà, le cose sulla terra diversamente procederebbero: i vapori per esempio si vedrebbero montar su come i globi areostatici, mercè la loro leggerezza specifica, e spinti in tal guisa agli ultimi strati dell'atmosfera uscirebbero fuori di essa in forza della loro elasticità, spandendosi per ogni verso nel vuoto; ed essendo l'evaporazione continua, continuamente i vapori monterebbero in alto, in modo che in breve i laghi ed i mari resterebbero asciutti, e tutte le acque della terra resterebber sospese al di sopra dell'atmosfera.

Egli è dunque manifesto, i fluidi elastici nel mescolarsi, non ubbidire, come i liquidi, alle leggi della densità.

Questa fondamentale verità è stata fermata mercè un'esperienza diretta. Berthollet avea fatto discendere nelle cave dell'Osservatorio due globi separati da una chiavetta: l'uno era pieno di gas idrogeno e l'altro di gas acido carbonico, entrambi alla stessa pressione: dopo di aver disposti gli anzidetti globi in guisa che quello pieno di gas idrogeno si trovasse sopra dell'altro pieno di gas acido carbonico, aspettò lunga pezza, prima di aprire la chiavetta, e di porre così i due globi in comunicazione tra loro. I due gas trovavansi al certo alla temperatura medesima, nella più perfetta quiete, ed esenti da qualunque scuotimento. Ciò non ostante i due gas in breve tempo mescolaronsi: la metà dell'idrogeno ad onta di sua leggerezza discese nel globo inferiore, e la metà dell'acido carbonico, non ostante la sua densità, ascese nel globo di sopra. In tal guisa ciascuno dei due gas penetrò nell'altro, dilatandosi mercè la sua forza espansiva, occupando tutto lo spazio che se gli parava dinanzi: ciascuno col duplicare il suo volume diminuiva per metà la sua forza elastica; ma la elasticità totale restò la stessa, eguale, cioè, alla somma delle elasticità parziali.

Quello che accade per due gas, accade anche per un numero maggiore. E però il principio generale risguardante il miscuglio dei fluidi elastici è il seguente: *Allorchè si accumulano nello stesso spazio diversi fluidi elastici, i quali non hanno alcun' azione chimica, ciascuno si espande in tutta l'ampiezza di questo spazio, e l'elasticità del miscuglio è eguale alla somma delle elasticità, che ciascuno dei fluidi avrebbe essendo solo.*

Questa verità si rende aperta, nel caso dei vapori, mercè il seguente strumento: (*fig.* 208, tav. 10) è un tubo largo e graduato, avente due chiavette di ferro a' due estremi; la chiavetta di sopra *s* non è bucata da una parte all'altra, ma solamente incavata, e dicesi perciò *chiavetta a capsula*. Il tubo *t* con la sua parte di sotto comunica con l'altro *t'*, che è più lungo e più stretto. La chiavetta di sopra si può togliere per far passare nei tubi una corrente di aria asciutta; allora si ripone la chiavetta, si versa il mercurio per lo braccio aperto, s'inclina più o meno per farne uscire l'aria soverchia, e si giungerà facilmente ad avere nel tubo grande *t* dell'aria asciutta, la quale sia sotto la pressione atmosferica. Indi si pone un liquido al di sopra della chiavetta a capsula, la quale si volta sempre per lo stesso verso per far cadere il liquido a goccia a goccia, e si osservano i seguenti fenomeni. Si vede il mercurio a poco a poco abbassarsi, e nello stesso tempo lo strato liquido scemar di grossezza. Il vapore dunque si forma lentamente nell'aria, il che si potrebbe dire egualmente delle evaporazioni che han luogo all'aria aperta. Ma è bello il vedere come questo vapore nell'aria abbia un massimo di tensione, il quale è lo stesso di quello che avrebbe nel vuoto. Ed in vero se nel braccio aperto si versi del mercurio, affin di ridurre il miscuglio gassoso al primiero volume, si vedrà la sua forza elastica esser maggiore di quello che era da prima, precisamente di quanto è il massimo di tensione del vapore, corrispondente alla temperatura alla quale si fa l'esperienza. Si perverrà alla stessa illazione, facendo passare il miscuglio d'aria e di vapori sotto più forti pressioni, col versare nuova quantità di mercurio nel tubo piccolo, o sotto pressioni più deboli, coll'aprire la chiavetta facendo uscire del mercurio. In ogni caso, tenendo conto delle variazioni di volume che l'aria soffre, si troverà sempre la forza elastica del miscuglio essere eguale alla somma delle forze elastiche del vapore e dell'aria.

Lo strumento che abbiamo descritto non può agevolmente essere adoperato pe' liquidi, come l'etere e l'alcool, i quali disciolgono i corpi grassi; perocchè passando per le chiavette superiori disciolgono le materie grasse onde queste sono spalmate ed i fluidi aeriformi van via. Gay-Lussac ha rimediato a que-

sto inconveniente sopprimendo interamente le chiavette superiori. Il suo apparecchio è rappresentato nella figura 208*bis*. Si riempie fino a' tre quarti di mercurio, inclinandolo convenevolmente. L'aria che occupa la sua parte superiore è da prima sotto la pressione atmosferica; allora si versa il liquido nella piccola branca aperta, si volge la chiavetta inferiore per fare uscire un poco di mercurio, ed il liquido della branca aperta è tosto aspirato nella chiusa; ciò fatto si versa di nuovo del mercurio nella branca aperta, per ricondurre il miscuglio di aria e vapori al volume stesso primitivamente occupato dall'aria sola, e si osserva l'eccesso di pressione, ch'è la forza elastica del vapore del liquido per questa temperatura.

Dal fatto generale per coteste sperienze fermato segue che il vapore aqueo per esempio si comporta nell'aria come nel vuoto, con questa sola differenza che nell'aria l'equilibrio di tensione si compone lentamente, nell'atto che nel vôto ciò si fa quasi in un momento. Onde alle temperature di — 10°, 0°, 10°, 20°, 30°, un metro cubico di spazio vuoto *è saturato di vapore* se la tensione espressa in millimetri sia di 2, 6; 5, 0; 9, 5; 17, 3; 30, 6; e lo stesso deve dirsi di un metro cubico di aria, la quale presa alla stessa temperatura, sia nelle pianure sia sulle montagne, sarà *satura di umidità*, se il vapore vi avrà acquistato le stesse tensioni. Or volgendo lo sguardo sulla tavola delle densità del vapore si vedrà che i pesi corrispondenti in grammi sono rispettivamente: 2, 9; 5, 4; 9, 7; 17, 8; 29, 4, cioè che un metro cubico di aria a 30° può contenere circa 30 grammi di vapore; se ne contenesse 15 sembrerebbe *molto secco*; nell'atto che con questo stesso peso a 20° sarebbe umidissimo, perchè molto vicino al punto di saturazione. Ecco perchè l'aria sembra farsi secca col riscaldarsi (Vedi *l'Igrometria* t. II, lib. 8. Meteorologia).

Il vapore mescolato con un altro fluido elastico si condensa per due cagioni, appunto come quello che trovasi nel vuoto, cioè per eccesso di pressione o per abbassamento di temperatura. Così l'aria atmosferica essendo sempre umida, particolarmente nelle basse regioni vicine alla terra, se prendesi, per esempio, un litro d'aria alla temperatura di 20°, sotto la ordinaria pressione di 760 millimetri, ed il vapore per parte sua soffra 10 millimetri di questa pressione, lo spazio non sarà punto saturato di umidità; ma comprimendo questo miscuglio gassoso, si aumenterà la tensione del vapore, egualmente che quella dell'aria, sempre proporzionalmente, fino a che il vapore non giunga al punto di sua massima tensione; se allora si operi una maggior pressione, il vapore si condenserà in parte, deponendosi sotto forma di rugiada sulle pareti del vase. Similmente riprendendo il solito litro di aria, se invece di comprimerlo si raffreddi, si vedrà anche il vapore condensarsi precisamente a quello stesso grado di freddo al quale sarebbesi condensato, se fosse solo e non mescolato con alcun altro fluido elastico. Si vede dunque essere generalmente vero, che in uno spazio qualunque, per esempio in un litro, si possono chiudere quante sostanze gassose si vogliano, senza che queste s'impediscano a vicenda: sarà mestieri soltanto operare una pressione eguale alla somma che ciascuna di queste regger potrebbe. E se il miscuglio fosse sottoposto a pressioni crescenti o a gradi di freddo sempre più intensi, offrirebbe de' piacevoli fenomeni, mercè la successiva liquefazione dei diversi elementi, i quali si ordinerebbero poi secondo le densità.

I miscugli gassosi presentano una importantissima quistione teorica, si domanda cioè se le molecole de' diversi fluidi elastici si premano a vicenda; se per esempio le molecole d'aria premano le molecole di vapore aqueo, ed al contrario. Pare che non vi dovrebbe essere reazione scambievole se non tra le molecole dello stesso genere: ma noi vedremo, trattando della propagazione del suono, ne' miscugli di questa natura esservi una uniforme comunicazione del moto vibratorio, il che ci fa supporre un'azione a distanza tra tutte le molecole indistintamente.

Per completare queste nozioni generali, indicheremo qui alcuni problemi, i quali posson presentarsi nella pratica.

1.° Essendo dato un vase *estensibile*, contenente un volume *v* di gas il quale esercita una pressione *p* verso le pareti, si domanda quale pressione si produrrà facendovi entrare un liquido il cui vapore saturi lo spazio con un massimo di tensione rappresentato da *f*: la pressione è chiaro dover divenire $p + f$.

2.° Essendo dato un vase indefinitamente *estensibile*, contenente un volume *v* di gas sotto una pressione *p*, determinare il volume che prenderà, facendovi entrare un liquido il cui vapore saturi lo spazio con un massimo di tensione espresso da *f*, supponendo che non varii nè la esterna pressione *p*, nè la temperatura durante l'esperienza.

A misura che la interna pressione cresce

per la formazione del vapore, essa diminuisce per la espansione del gas; e poichè per l'equilibrio deve rimanere eguale alla esterna pressione p, sarà d'uopo, poichè il vapore soffre f da parte sua, che il gas soffra $p-f$, dunque il volume v crescerà fino a divenire $\frac{vp}{p-f}$.

3°. Un miscuglio gassoso ha una forza elastica p ad una temperatura t; esso prende una forza elastica p' alla temperatura t', senza che il suo volume si alteri sensibilmente: si domanda se siasi formato vapore o se siasene precipitato; e quale sia il punto di ebollizione del liquido che ha dato origine al vapore nel caso che vi sia.

Se non vi fosser vapori condensati o formati, la pressione diventerebbe $p\frac{(1+at')}{1+at}$; e però $p'-p\frac{(1+at')}{1+at}$ sarebbe la forza elastica del vapore perduto o acquistato.

Supponendo che il vapore fosse al suo massimo di tensione, ed osservando quale è la sua forza elastica tra le temperature t e t', si potrà, mercè la legge del Dalton, trovare il punto di ebolizione.

CAPO IV.

DELL' EBOLLIZIONE E DELL' EVAPORAZIONE.

149. La trasformazione de' liquidi in fluidi elastici dicesi *vaporizzazione* (1). I liquidi si convertono in vapori coll' ebollizione; cioè quando i vapori si formano entro la massa, e per evaporazione, cioè quando si formano alla superficie.

Osservando l'ebollizione di un liquido, generalmente altro non si vede che un moto più o meno rapido che mescola tutte le parti della massa, agitandole per ogni verso; ma quando il liquido si fa bollire in un vase di vetro, si osserva la cagione sempre incostante che tali moti produce. Si ravvisano le bolle di vapore, le quali si formano sulle parti riscaldate del vase, e si elevano in forza della loro leggerezza; venendo a scoppiare alla superficie; esse da prima son piccole, cioè quando nascono, ma poi col montar su vannosi rendendo maggiori, e quelle che traggon la loro origine dai punti più caldi del vase con maggiore frequenza si succedono. Affinchè coteste bolle possano nascere ed ascendere in mezzo alla massa liquida, che da ogni parte le preme, è mestieri al certo che il lor vapore abbia una tensione eguale alla pressione circostante, e da ciò nasce il punto di ebollizione de' vari liquidi, e dello stesso liquido sottoposto a diverse pressioni. Per la qual cosa affinchè si abbia l'ebollizione, è forza prima di tutto che la temperatura sia tanto elevata da far che la forza elastica del vapore possa vincere tutte le pressioni che han luogo nella massa liquida. È mestieri in secondo luogo, siccome abbiamo già osservato, che il vapore possa assorbire il calorico necessario alla sua formazione.

(1) Voce poco usata dagl' Italiani

Dalla prima condizione segue, che tutto ciò che fa variare la pressione del liquido o la tensione del vapore farà variare il punto di ebollizione; segue poi dalla seconda, che la rapidità dell'ebbollizione dipende solo dalla quantità di calorico che è somministrato alle esterne pareti del vase in un dato tempo, il quale può passare alle interne e quindi al liquido che si converte in vapore. Queste due conseguenze meritano di esser meglio dichiarate.

149 *bis*. *Del punto di ebollizione*. Le cause che possono far variare il punto di ebollizione di uno stesso liquido, son principalmente la pressione che esso soffre e le sostanze che può tenere in dissoluzione; in fine vi concorrono anche in un certo modo la coesione del liquido e la natura del vase, ma tra limiti molto ristretti.

Potere della pressione.—Al livello del mare, sotto la consueta pressione di 760^{mm}, l'acqua bolle a 100°; sulla cima del Monte Bianco, il quale è alto 4775 metri, e dove la pressione atmosferica è di 417^{mm}, l'acqua deve bollire a quella temperatura alla quale la forza elastica del vapore è di 417^{mm}, cioè ad 84° circa. Se si potesse ascendere più alto, la pressione facendosi minore, l'ebollizione si avrebbe ad una più bassa temperatura. In generale conoscendo la tavola delle tensioni del vapore di un liquido, si potrà facilmente trovare il suo punto di ebollizione *sotto una data pressione*, perciocchè sarà sempre il grado di calorico che dà al vapore un massimo di tensione capace di vincere questa pressione. Reciprocamente potrebbasi far bollire un liquido ad una data temperatura col diminuire la pressione, in guisa che si renda minore della tensione corrispondente a questa temperatura, relativamente al liquido che si vuole far bollire.

Per esempio sotto una pressione di 30^{mm}, l'acqua deve bollire a 30°, perciocchè a questa temperatura la tensione dell'acqua è alquanto maggiore di 30^{mm}; sotto una pressione

di 10^{mm}, l' acqua deve bollire alla temperatura di 11°; ed alla temperatura 0°, allorchè trovasi la pressione di 5^{mm}.

Queste verità si possono nel seguente modo comprovare: si pone dell' acqua riscaldata fino a 30° in un vase di vetro sotto al recipiente della macchina pneumatica, e dopo alcuni colpi di stantuffo, quando il provino segnerà 30^{mm} di tensione, si vedrà l' acqua incominciare a bollire con violenza, come se un vivo fuoco vi stesse sotto e fosse sottoposta alla intera pressione dell' aria. Cotesta ebollizione tosto finisce, perciocchè il vapore empie il recipiente e preme sulla superficie del liquido; ma di nuovo dando moto agli stantuffi si fa uscire il vapore, e l' ebollizione nuovamente incomincia. Con le nostre macchine ordinarie sarebbe impossibile di far bollire l' acqua alla temperatura 0, perciocchè non si potrebbe mantenere un vuoto corrispondente a 5^{mm} di pressione, per cagione del vapore che continuamente si svolge dalla superficie del liquido.

L'apparecchio espresso nella *fig* 218, tav. 10 fa vedere il fenomeno in una maniera più sorprendente. Esso è un recipiente a lungo collo *a*, chiuso da un turaccio *b*. Cotesto recipiente è pieno per metà di acqua; la quale si fa giungere al punto di compiuta ebollizione, e, quando si può giudicare che l' aria siasene uscita, si chiude il recipiente col turaccio *b*, e poi si capovolge secondo apparisce dalla figura. Stando così il recipiente, l' acqua non bolle punto, e ciò è naturale; ma se si versi dell' acqua fredda dalla parte di sopra, allora si vedrà l' acqua con più vigore nuovamente bollire. L' acqua fredda fa bollire l' acqua del recipiente, perciocchè essa condensa il vapore e diminuisce la pressione che operava sul liquido. In tal guisa si può avere anche un' ebollizione senza fuoco, la quale duri per ore intere.

Il variar del punto di ebollizione è stato anche verificato per mezzo di esperienze dirette sopra i Pirenei e sopra altre montagne.

L'acqua bollente dunque non è egualmente calda in tutt' i luoghi della terra, e però non è egualmente propria negli usi domestici per la preparazione delle vivande. A Quito, per esempio, l' acqua bolle a 90°, e questa temperatura è molto bassa per cuocere parecchie sostanze le quali possono esser cotte a 100°.

NOMI DE' LUOGHI	ALTEZZA al di sopra dell' Oceano	ALTEZZA media del barometro	GRADI dell' ebollizione dell' acqua
	met.	mm.	gr.
Villa d' Antisana	4101	454	86,3
Città di Micuipampa (Perù)	3618	483	87,9
Città di Quito	2908	527	90,1
Città di Caxamarca (Perù)	2860	531	90,3
Santa-Fè di Bogota	2661	544	90,9
Città di Cuenca (provincia di Quito)	2633	546	91,0
Messico	2277	572	92,3
Ospizio del San Gottardo	2075	586	92,9
Villaggio di San Verano (Alpi Marit.)	2040	588	93,0
Vill. di Breuil (vall. di Monte Cervino)	2007	591	93,1
Villaggio di Maurin (Basse Alpi)	1902	599	93,5
Villaggio di San Remigio	1604	621	94,3
Villaggio di Heas (Pirenei)	1465	632	94,9
Villaggio di Gavarota (Pirenei)	1444	634	95,0
Briançone	1306	645	95,5
Villaggio di Baréges (Pirenei)	1269	648	95,6
Palazzo di S. Ildefonso (Spagna)	1155	657	96,0
Bagni del Monte d' Oro (Alvergna)	1040	667	96,5
Pontarlier	828	685	97,1
Madrid	608	704	97,8
Inspruck	566	708	98,0
Monaco	538	710	98,1
Losanna	507	713	98,3
Augsburgo	475	716	98,4
Salzburgo	452	718	98,4
Neufchâtel	438	719	98,5
Plombières	421	721	98,5
Clermont-Ferrant (prefettura)	411	722	98,5
Ginevra e Freyberg	372	725	98,6
Ulma	369	726	98,7
Ratisbona	362	726	98,7
Mosca	300	732	99,0
Ghota	285	733	99,0
Torino	230	738	99,1
Dijone	217	740	99,2
Praga	179	743	99,3
Macon (Saona)	168	744	99,4
Lione (Rodano)	162	745	99,4
Cassel	158	745	99,4
Gottinga	134	747	99,5
Vienna (Danubio)	133	147	99,5
Milano (Orto botanico)	128	748	99,5
Bologna	121	749	99,5
Parma	93	751	99,6
Dresda	90	752	99,6
Parigi (Osservatorio Reale, 1° piano)	65	754	99,7
Roma (Campidoglio)	46	756	99,8
Berlino	40	756	99,8

La tavola antecedente contiene de' punti di ebollizione dell' acqua in parecchi luoghi abitati, le cui altezze sono ben conosciute.

Soffrendo il barometro continue variazioni nello stesso luogo, segue che il punto di ebollizione debba anche continuamente variare. In Parigi essendosi avuta in 30 anni la minore altezza del barometro di 719mm, e di 781mm la maggiore, è chiaro il più alto punto di ebollizione corrispondente a 781mm essere stato di 100°,8, ed il più basso corrispondente a 719 essere stato di circa 98°,5. Comprendesi da ciò quanto sia importante il tener conto dell' altezza del barometro nel momento in cui si nota il punto di ebollizione sulla scala del termometro.

Il Walferdin autore di ricerche molto importanti intorno a' termometri (vedi la Meteo-

rologia), ha immaginato un ingegnosissimo termometro e molto esatto per determinare la temperatura dell' ebollizione dell'acqua ne'diversi luoghi; questo apparecchio è rappresentato dalla *fig.* 196, tav. 8. Ivi si vede che il mezzo della scala invece di essere a cannello molto stretto è a riserbatoio; in tal modo il termometro segna 5 o 6 gradi presso allo zero ed 8 o 10° intorno al punto di ebollizione. Con questo artifizio si dà al termometro piccola lunghezza e grande sensibilità. Cotesto piccolo strumento, così portatile, pare più comodo del barometro pe' viaggiatori nelle montagne, e per determinare le altezze; ma quando si pon mente che un decimo di grado di differenza nel punto d' ebollizione corrisponde a circa 2 millimetri di altezza barometrica, e che, da altra parte, i termometri i più esatti rimangono esposti ad uno spostamento dello zero, s' intende che il barometro conserva dei vantaggi positivi.

Do intanto la tavola formata dal Regnault, a questo proposito (*Ann. de Phys. et de Chimie, t. 14, giugno 1845*); essa servirà in pari tempo ad indicare in qual maniera debbansi fare le correzioni, quando si graduano de'termometri sotto pressioni diverse dall'ordinaria di 760 millimetri.

TAVOLA

Delle tensioni del vapore d' acqua, in millimetri, da 85 a 101 gradi

GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE	GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE
85,0	433,04				1,85
1	4,75	1,71	7	481,08	1,86
2	6,46	1,71	8	2,94	1,87
3	8,17	1,71	9	4,81	1,88
4	9,89	1,72	88,0	6,69	1,88
85,5	441,62	1,73	1	8,57	1,88
6	3,35	1,73	2	490,45	1,89
7	5,09	1,74	3	2,34	1,90
8	6,84	1,75	4	4,24	1,91
9	8,59	1,75	88,5	6,15	1,91
86,0	450,34	1,75	6	8,06	1,92
1	2,10	1,76	7	9,98	1,92
2	3,87	1,77	8	501,90	1,92
3	5,64	1,77	9	3,82	1,94
4	7,42	1,78	89,0	5,76	1,94
86,5	9,21	1,79	1	7,70	1,95
6	461,00	1,79	2	9,65	1,95
7	2,80	1,80	3	511,60	1,96
8	4,60	1,80	4	3,56	1,97
9	6,41	1,81	89,5	5,53	1,97
87,0	8,22	1,81	6	7,50	1,98
1	470,04	1,82	7	9,48	1,98
2	1,87	1,83	8	521,46	1,99
3	3,70	1,83	9	3,45	2,00
4	5,54	1,84	90,0	5,45	2,00
87,5	7,38	1,84	1	7,45	2,01
6	9,23	1,85	2	9,46	2,02
			3	531,48	

GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE	GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE
4	533,50	2,02	95,0	633,78	2,34
90,5	5,53	2,03	1	6,12	2,34
6	7,57	2,04	2	8,47	2,35
7	9,61	2,04	3	640,83	2,36
8	541,66	2,05	4	3,19	2,36
9	3,72	2,06	95,5	5,57	2,38
91,0	5,78	2,06	6	7,95	2,38
1	7,85	2,07	7	650,34	2,39
2	9,92	2,07	8	2,73	2,39
3	552,00	2,08	9	5,13	2,40
4	4,09	2,09	96,0	7,54	2,41
91,5	6,19	2,10	1	9,95	2,41
6	8,29	2,10	2	662,37	2,42
7	560,39	2,10	3	4,80	2,43
8	2,51	2,12	4	7,24	2,44
9	4,63	2,12	96,5	9,69	2,45
92,0	6,76	2,13	6	672,14	2,45
1	8,89	2,13	7	4,60	2,46
2	571,03	2,14	8	7,07	2,47
3	3,18	2,15	9	9,55	2,48
4	5,34	2,16	97,0	682,03	2,48
92,5	7,50	2,16	1	4,52	2,49
6	9,67	2,17	2	7,02	2,50
7	581,84	2,17	3	9,53	2,51
8	4,02	2,18	4	692,04	2,51
9	6,21	2,19	97,5	4,56	2,52
93,0	8,41	2,20	6	7,08	2,52
1	590,61	2,20	7	9,61	2,53
2	2,82	2,21	8	702,15	2,54
3	5,04	2,22	9	4,70	2,55
4	7,26	2,22	98,0	7,26	2,56
93,5	9,49	2,23	1	9,82	2,56
6	601,72	2,23	2	712,39	2,57
7	3,97	2,25	3	4,97	2,58
8	6,22	2,25	4	7,56	2,59
9	8,48	2,26	98,5	720,15	2,59
94,0	610,74	2,26	6	2,75	2,60
1	3,01	2,27	7	5,35	2,60
2	5,29	2,28	8	7,96	2,61
3	7,58	2,29	9	730,58	2,62
4	9,87	2,29	99,0	3,21	2,63
94,5	622,17	2,30	1	5,85	2,64
6	4,48	2,31	2	8,50	2,65
7	6,79	2,31	3	741,16	2,66
8	9,11	2,32	4	3,83	2,67
9	631,44	2,33	99,5	6,50	2,67

GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE	GRADI	TENSIONE	DIFFERENZE
6	749,18	2,68	4	771,95	2,75
7	751,87	2,69	100,5	3,71	2,76
8	4,57	2,70	6	6,48	2,77
9	7,28	2,71	7	9,26	2,78
100,0	760,00	2,72	8	782,04	2,78
1	2,73	2,73	9	4,83	2,79
2	5,46	2,73	101,0	7,63	2,80
3	8,20	2,74			

Se la pressione si accresca in vece di scemarla, l'ebollizione sarà ritardata; e si potrà indefinitamente ritardarla con accrescere indefinitamente la pressione.

In tal modo nel vase conosciuto col nome di *pignatta* o *digestore* di *Papin* si può elevar l'acqua fino alle più alte temperature senza farla bollire. È questo (*fig.* 219, tav.10) un vase cilindrico di bronzo o di ferro, le cui pareti son capaci di una grande resistenza. L'apertura, la quale è piccola, si chiude con una animella sulla quale si pongon de'pesi equivalenti alla pressione di 40 o 50 atmosfere, secondo la forza delle pareti. L'ebollizione non potrà punto avverarsi, perciocchè il vapore che al di sopra del liquido si forma, esercita una tale pressione da impedirla. Ma aprendo l'animella, l'acqua spruzzerà in vapore con talo impeto da fare un getto alto 20 o 30 piedi; il vase in pari tempo è molto raffreddato, per cagione del calorico che ha dovuto dare all' acqua che si è convertita in vapore.

Fu il digestore inventato da Papin verso la metà del decimosettimo secolo, e fu adoperato per molte piacevoli esperienze, tanto per far conoscere la forza meccanica del vapore, quanto per dimostrare il potere dissolvente dell'acqua tenuta nello stato liquido a temperature maggiori di 100°.

L'autoclave differisce dal digestore di Papin soltanto per una ingegnosa modificazione. Oltre dell' apertura dell'animella, sempre molto angusta, tien l'autoclave un'altra apertura di grandezza arbitraria e di forma essenzialmente *ellittica*; per l'opportunità di questa forma, il coverchio, tuttochè più grande, può esser posto dalla parte di dentro; ed in questo caso la stessa forza del vapore lo stringe verso le pareti, e però il vase *da se stesso si chiude*, e tanto meglio per quanto maggiore sarà la tensione.

Se l'acqua non sia ermeticamente chiusa in una caldaia, e se siavi qualche apertura per la quale il vapore possa uscire, allora la temperatura della ebollizione dipenderà dall' ampiezza di cotesta apertura considerata per rispetto alla superficie dell' acqua che riceve l'azione del fuoco. Ecco una tabella delle temperature che può l'acqua approssimativamente prendere in questi casi, sotto le ordinarie pressioni.

Temperature che prende l'acqua nella caldaia	Ragione tra la superficie dell' orifizio e quella dell'acqua che riceve il fuoco
100°	$\frac{1}{1000}$ è al di sopra
105	$\frac{1}{5000}$
115	$\frac{1}{10000}$
138	$\frac{1}{20000}$

Sembra che la quantità di vapore che esce nello stesso tempo da ciascuna di queste aperture sia presso a poco la stessa. Così il peso dell' acqua convertita in vapore, che si eleva in 1' da una caldaia aperta del tutto, alla temperatura di 100°, sarebbe quasi eguale al peso dell' acqua ridotta in vapore, che uscirebbe dalla stessa caldaia alla temperatura di 138°, per un'apertura, la cui superficie fosse $\frac{1}{20000}$ di quella dell' acqua esposta all'azione del fuoco.

In una massa liquida assai profonda, oltre la pressione che opera sulla superficie, le molecole del fondo soffrono anche la pressione della colonna liquida superiore. Onde in una caldaia piena d'acqua la cui profondità fosse di 32 piedi, l'acqua del fondo troverebbesi

premuta da due atmosfere, e però le bolle di vapore non potrebbero formarsi, se la temperatura non fosse di 121°; questo dunque sarebbe il punto di ebollizione dell' acqua per questa profondità. Ma le parti della superficie dovendo essere a 100°, ne avviene che quelle del fondo s' innalzino, essendo più dilatate, e formino delle bolle di vapore per cagione della diminuita pressione, e che per conseguenza si raffreddino passando successivamente per tutte le temperature da 121° fino a 100°. Anche ne' vasi i quali abbian pochi pollici di profondità si genera un fenomeno simile, pria d' incominciare l' ebollizione. Le particelle dell' acqua che stanno vicine al fondo, prendono, toccando le pareti, tanto calorico, da potersi ridurre in vapore; quindi formansi alcune bollicine, le quali montan su, ma nel passare per mezzo alle parti di sopra non ancora sufficientemente riscaldate, tosto si condensano. Quindi quel fremito particolare che di alcuni momenti precede l' ebollizione de' liquidi. Tuttociò si può rendere aperto facen do bollire un liquido in un vase di vetro, perciocchè in tal caso si vedranno nascere le bolle, elevarsi alquanto, e poi sparire; allora si dice che il liquido *canta*, e che di corto bollirà.

Potere delle sostanze sciolte nel liquido. — Il punto di ebollizione di un liquido non è alterato dai corpi estranei che trovansi meccanicamente sospesi nella massa dello stesso, come le particelle di arena nell' acqua; ma è sempre cangiato dai corpi che son chimicamente combinati con la sua sostanza. Daremo per esempio le dissoluzioni di zucchero più o meno saturate e le dissoluzioni di vari sali (1).

Dissoluzione 100 con diverse proporzioni di zucchero e di acqua.

Zucchero	Acqua	Punto di eboll.	Qualità della *cotta*
100	»	133	»
96,50	3.50	132,50	fragile sotto le dita
95,75	4,25	128.50	fragilissima
92,67	7,33	122.00	poco fragile
»	»	120,00	a grandi bolle
89,00	11.00	119,00	a bolle ordinarie
87,00	13,00	112.00	molto riccia
86,20	13 80	110,50	riccia
74,00	26,00	108,00	leggiermente filam.
70,60	29,40	107,00	»
65,20	34,80	106,00	»
58,50	41,50	105.00	»
53	47,00	104,00	»

Legrand ha fatto sul proposito delle importantissime sperienze, e nella seguente tavola trovansi notati i risultamenti ai quali è pervenuto.

(1) Nell' acqua trovasi alcun poco di aria, come tutti sanno, e questa modifica in una certa guisa il fenomeno della ebollizione. *V. Bellani nel Giornale di Fisica di Pavia an.* 1809.

Molte belle osservazioni intorno al fenomeno del quale si tratta sono state fatte particolarmente da Bellani, le quali potranno vedersi o nel citato Giornale, o nella più volte citata Fisica del Belli. Dalle cose dette intorno all' ebollizione apparisce quanta diligenza sia necessaria nel giovarsi del punto di ebollizione dell' acqua, per graduare il termometro; imperciocchè il punto di ebollizione, oltre al variare variando l' altezza barometrica, varia anche per le straniere sostanze che possonsi trovare sciolte nell' acqua.

TAVOLA

De' punti di ebollizione di diverse soluzioni saturate e delle corrispondenti proporzioni di sale.

DESIGNAZIONE DELLE SOLUZIONI	PUNTI di ebollizione in gradi centigradi	QUANTITA' di sali che saturano 100 di acqua
Clorato di potassa	104°,2	61,5
Cloruro di bario	104,4	60,1
Carbonato di soda	104,6	48,5
Fosfato di soda	106,5	113,2
Cloruro di potassa	108,3	59,4
Cloruro di soda	108,4	41,2
Idroclorato di ammoniaca	114,2	88,9
Tartrato neutro di potassa	114,67	296,2
Nitrato di potassa	115,9	335,1
Cloruro di strontio	117,9	117,5
Nitrato di soda	121,0	224,8
Acetato di soda	124,37	209,0
Carbonato di potassa	135,0	205,0
Nitrato di calce	151,0	362,2
Acetato di potassa	169,0	798,2
Cloruro di calcio	179,5	325,9
Nitrato di ammoniaca	180,0	infiniti.

Legrand non si è limitato solo a determinare con diligenza il punto di ebollizione di una soluzione di acqua saturata; ma ha fatto benanche numerosissime ed assai giuste esperienze, per conoscere le proporzioni di sale che son necessarie per produrre dei ritardi d'ebollizione di 1°, 2°, ec. fino al punto di saturazione.

La tavola seguente è in certo modo il riassunto del suo lavoro.

Ritardo di ebollizione	Nitrato cristal. d' antimonio	Cloruro di calcio	Acetato di potassa	Nitrato di calce	Carbonato di potassa	Acetato di soda	Nitrato di soda	Nitrato di potassa	Cloruro di stronzio	Tartrato neutro di potassa	Sale ammoniaco	Cloruro di sodio	Cloruro di potassio	Fosfato di soda	Carbonato di soda	Cloruro di bario	Clorato di potassa
gr.																	
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	32,0	14,4	19.6	14.6
2	20,5	16,5	20,0	25.3	22,5	17.6	18.7	25,2	26,4	47,2	13,9	13.4	17,1	42,8	26,7	32,5	29.2
3	31,3	21,6	28.6	34,4	31.0	23,1	28;2	32,1	42.2	63,0	19.7	18.4	24,5	60,6	36.8	44,5	43.9
4	42,4	25,8	36.4	42,6	38.8	30,5	37,9	37,9	59.6	82.3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,5
5	53,8	29,4	43.4	50,4	46,1	36.7	47,7	43,4	78,3	100.1	30,5	27.7	37,8	91,8			
6	63,4	32,6	49,8	57.8	53,1	42,9	57,6	48,8	98.2	118,5	35.7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55.8	64,9	59.6	49,3	67,7	54.0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	53,8	77,9	59,0	140,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71.9	62,4	88.3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114.9	44,0	73,3	85,3	77.6	69,2	98.8	68,9	185,9	196.2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91.9	83,0	76,2	109,8	74.1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88.2	83,4	120,3	79.6	233,0	237,9	73.3						
13	156.9	52,6	91 4	104;8	93,2	90,9	131,3	85,3	257.6	259,5	80.5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98.8	142,4	91,2	285,3	281,6	88,1						
15	188,0	58.6	103,9	117,5	102,8	107,1	135,7	97,5	310.2								
16	204,4	61,0	110.3	123.8	107,5	115,8	163,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125.1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123.4	136,1	117,1	131,9	188,6										
19	256.8	70,6	130,1	142,1	122.0	145.2	200,5										
20	275,3	73.6	136,9	148,1	127.0	156.1	212,6										
22	314,0	79 8	160,8	160,1	137.0	179,3											
24	354,0	86.0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396.0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	557,3	110,9	230,6	222.2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330.8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203;0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	» » »	241,9	730,4														
68	» » »	252,8	775,0														
70	» » »	264,2															
72	» » »	276,1															
74	» » »	288,5															
76	» » »	301,4															
78	» » »	314,8															
80	infini.																

Quando un liquido è combinato con un altro più o meno volatile di esso, anche varierà il punto di ebollizione: ma in questo caso il vapore che si forma, spesso è un miscuglio in varia proporzione de' vapori de' due liquidi. Così l' alcool fa bollire l' acqua più presto, l' acido solforico più tardi, e ne' due casi i vapori son semplicemente mescolati, quantunque i liquidi siano chimicamente combinati.

Potere della coesione del liquido e della natura del vase.—L' acqua bolle un poco più tardi in un vase di vetro che in un vase di metallo, ed in pari tempo con iscosse più violente; in altri liquidi si osservano fenomeni analoghi, e queste scosse par che sieno tanto più violenti, per quanto maggiore è l' adesione del liquido col vase, e per quanto maggiori sono le azioni molecolari dell' uno sulla materia dell' altro. Spesso basta gettare in un vase di vetro o un pezzetto di metallo o un poco di polvere metalica per rendere l' ebollizione assai regolare (1).

A questi fatti indicati dal Gay-Lussac un abile fisico di Ginevra il Marcet ne ha aggiunti altri che non sono meno importanti (*Biblioth. Univ. de Genève*, 1841, t. 38). Marcet adunque ha dimostrato 1° che generalmente la temperatura del vapore è minore di quella dell' acqua bollente. Vero è che in coteste sperienze nessuna precauzione si è presa per impedire il raffreddamento del vaso entro di cui il vapore formavasi; 2° che l' acqua che bolle in un vase di vetro rivestito di zolfo, o di gomma lacca è un poco meno calda di quella che bolle in un vase di metallo; 3° che nel vetro comune la temperatura dell' ebollizione è di circa 1° o di 1°,25 più alta che in un vase di metallo; 4° finalmente che facendo bollire dell' acido solforico in un globo di vetro se gli dà la proprietà permanente di ritardare il punto di ebollizione più di quello di prima; il ritardo giunge allora a 5 o 6°.

149. *ter. Della rapidità dell' ebollizione.*—La quantità di vapore che si forma per ebollizione dipende dalla quantità di calorico che il liquido riceve in un dato tempo, e questa dipende: 1° dalla efficacia del fuoco; 2° dalla natura e grossezza delle pareti della caldaia; 3° dalla estensione della superficie liquida esposta all' azione del fuoco.

1° L' efficacia del fuoco dipende dalla fabbrica del fornello, e specialmente dalla natura del combustibile; perciocchè le legna, i carboni, le zolle di terra atte a far fuoco (*tourbe*), il carbone di terra, e l' antracite, non danno, a pesi uguali, eguali quantità di calorico, e però non sono atti a generare eguali temperature.

2.° La superficie esterna della caldaia può esser più o meno propria a ricevere l' azione del fuoco, e ad assorbire il calorico che la colpisce, e noi vedremo altresì che la natura delle pareti e la loro grossezza possono esser cagione per cui siano da maggiore o minore quantità di calorico attraversate in un dato tempo.

3° L' acqua che riceve l' azione del fuoco è quella che tocca le pareti del vase riscaldato, e se ciascuna parte di queste pareti somministri la stessa quantità di calorico; egli è chiaro l' evaporazione in un dato tempo esser

(1) Osservando quello che avviene durante l' ebollizione in un vase di vetro, si vedrà le bollicine di vapore non nascere indifferentemente in tutt' i punti del fondo e delle pareti, ma comparire in preferenza in alcuni particolari punti da' quali l' una presso l' altra rapidamente succedonsi, quasi facendo un continuato zampillo ed ingrossandosi col farsi in alto.

Questa osservazione fu fatta da Carradori (*Ann. di Chim. di Pavia* t. XVIII, XIX, XXI), da Guyton (*Ann. de Chimie*, t. XXI), e poscia ripetuta con diligenza dall' accuratissimo canonico Bellani (*Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809). Dalle osservazioni di costoro risultò, le bolle anzidette, in un matraccio di vetro, scaturire singolarmente da quei punti ove il vase ha qualche scabrezza, ovvero è imbrattato di qualche sostanza straniera, per esempio di cera lacca. Il Bellani poi osservò particolarmente, che introducendo nell' acqua già bollente nel matraccio di vetro, de' corpi porosi, quali sarebber canapa, cotone, seta, legno, pomice, ec. attaccati a fili di ferro, si ha sulle prime una subitanea e tumultuosa ebollizione intorno a questi corpi, e cessata questa, vi continua un' ebollizione più tranquilla nella quale le bolle si sviluppano in preferenza in contatto di questi corpi medesimi, senza che esse appariscano più, come per lo innanzi, nel fondo del vase, quando però il fuoco non sia troppo violento, e la temperatura intanto si abbassa di uno o due gradi C. al di sotto del punto in cui trovavasi pria che vi fossero immersi questi corpi. Un filo di ferro o di rame si comporta in simil guisa, cioè si vedranno le bollicine scaturire dalla sua punta, e se in esso ad una piccola distanza dalla punta si attacca un pezzettino di cera lacca, cessa lo sviluppo delle bolle nella punta suddetta, e si appalesa invece dove sta la cera lacca. Se poi si butti nel recipiente un pò di limatura di qualche metallo, scomparirà lo sviluppo delle bolle anche dalla cera lacca, e si trasferirà al fondo, ove l' anzidetta limatura si posa. Lo svolgimento delle bolle in questo caso si opera tranquillamente: e la temperatura si tien presso a due gradi centigradi più bassa di quello che era quando l' ebollizione operavasi senza la introduzione di queste sostanze. Il Bellani, osservati questi fatti, ne va rendendo ragione con sommo giudizio; ma io non posso qui riferire i suoi ragionamenti, i quali mi menerebbero assai per le lunghe: invio perciò gli studiosi al terzo volume del Corso di Fisica del signor Belli.

proporzionale alla superficie della caldaia colpita dalla fiamma o a ciocchè dicesi *superficie di riscaldamento.*

150. Parecchi liquidi, toccando una superficie riscaldata fino al rosso candente (*rouge blanc*), presentano un fenomeno assai singolare, cioè invece di agitarsi e rapidamente bollire, si tengon fermi, conservando il loro volume, quasi come se la temperatura non fosse sufficiente per la loro ebollizione.

Volendo farne l'esperienza sopra piccole masse, si suole fare riscaldare un grogiuolo di metallo, entro del quale poi si fanno cadere alcune gocce d'acqua: il liquido si farà rotondo come il mercurio sul vetro, starà per molto tempo in quiete, o prenderà un velocissimo moto di rotazione intorno a se stesso: non vi sarà alcuna ebollizione, ma vi sarà una insensibile diminuzione di volume. Ma levando il crogiuolo dal fuoco, acciocchè si raffreddi, si vedrà giungere un momento, presso alla temperatura del rosso oscuro, in cui il liquido di botto incomincia a bollire con veemenza, sperdendosi per ogni verso. L'acqua satura di un alcali o di un sale solubile rendesi incapace di produrre cosiffatto fenomeno: essa in questo caso bolle in un crogiuolo candente del pari che in uno caldo senza essere arroventato.

Baudrimont che ha fatto delle importanti ricerche sul proposito pensa che il liquido non bolle, perchè la falda di vapore, che si è formata intorno al medesimo, prende poco calorico dalla parete calda, e quindi il liquido ne riceve una quantità sufficiente a farlo bollire, ma bastante solo a riscaldarlo in modo da farlo più presto svaporare. Cotesta spiegazione pare plausibile; ma resta a sapersi perchè in tali congiunture il liquido prende la forma *globulare*, e sembra aver perduto la proprietà di bagnare il corpo caldo.

Il Boutigny ha studiato in modo particolare siffatti fenomeni che ha denominati *fenomeni di calefazione*; egli dice che un liquido si *calefà*, quando toccando un corpo caldo prende la forma globulare di cui abbiamo parlato. Egli è giunto a risultamenti degni da notarsi: ha per esempio mostrato che con l'acido solforoso si può congelare l'acqua in un fornello, accanto all'oro ed all'argento in fusione. Per aver cotesto fenomeno ei pone nel fornello un crogiuolo di platino, e quando questo è molto riscaldato vi versa entro alcune gocce di acido solforoso; quest'acido in vece di presto volatilizzarsi, come si avrebbe potuto credere, si vede prendere la forma globulare, volatilizzarsi lentamente, attirare l'umidità e congelarla alla sua superficie; questo ghiacciuolo visibilissimo finisce per fondersi, quando l'acido è quasi interamente volatilizzato, e diventa a sua posta globulare per sparire anch'esso per evaporazione e non per ebollizione. Siccome l'acido solforoso bolle ad una temperatura più bassa di zero, non è da maravigliarsi se senza bollire si tenga al di sotto di zero, per la semplice evaporazione, e ciò basta a gelare il vapore acqueo che va a toccarlo.

Ei pare che Perkins abbia veduto ne' bollitoi delle caldaie incandescenti, l'acqua prendere la forma globulare e dare pochissimo vapore.

150 bis. *Dell' evaporazione.*—L' *evaporazione* è la formazione del vapore alla superficie libera dei liquidi, nell'atto che l'ebollizione, come non ha guari dicemmo, è la formazione del vapore nel seno della massa. L'acqua svapora alla superficie dei fiumi, dei laghi e dei mari; essa svapora sulla superficie della terra, sul suolo e sulle piante; ed è chiaro non aver essa allora una forza di elasticità valevole a vincere la pressione dell'aria Onde le più ovvie osservazioni ci rendon certi, il vapore formarsi sull'acqua ad ogni temperatura, ed esalare nell'aria, anche avendo la più debole forza elastica. Fu da prima supposto, regnare un'affinità chimica tra le molecole dell'aria e del vapore, mercè la quale potesse l'anzidetto fenomeno accadere; ma abbiam veduto non esser mestieri di ricorrere alle forze chimiche: il vapore, sia la sua tensione debole quanto si voglia, si mescola con l'aria appunto come i gas si mescolano fra loro. La sola condizione necessaria dunque per lo svaporamento dei liquidi, è che gli strati aerei che lo circondano non sian saturati di vapori; e siccome ne' miscugli di due gas avviene che le molecole dell'uno meccanicamente si oppongono alla diffusione dell'altro, così nell'evaporazione avviene che l'aria è di ostacolo alla espansione del vapore. Per la qual cosa in un'atmosfera perfettamente tranquilla l'evaporazione è lenta, nell'atto che in un'aria agitata essa si rende più pronta, perciocchè gli strati aerei non saturi di vapori vanno successivamente ad imbattersi col liquido. Un vento asciutto dotato d'infinita velocità, soffiando sulla superficie di un lago, vi produrrebbe una evaporazione tanto rapida, quanto è quella che avrebbe in un vuoto infinito, imperciocchè le molecole vaporose sarebbero trasportate con tale prestezza, da non potere esercitare alcuna pressio-

ne sulle molecole acquee ed impedir loro così di convertirsi a lor posta in vapore.

La prontezza dell'evaporazione non solo dipende dall'agitazione dell'aria, ma anche dalla tensione del vapore, o piuttosto dalla differenza tra la tensione del vapore che si forma e quella del vapore che si è già formato nell'aria. Dalle sperienze fatte da Dalton sul proposito, risulta che la quantità del liquido, che in un dato tempo si può convertire in vapore, sia sempre proporzionale a siffatta differenza di tensione. Così in un'aria asciutta alla temperatura di 11°, a superficie eguali, si riduceva in vapore tant'acqua per quanta presso a poco se ne sarebbe ridotta alla temperatura di 30°, in un'aria umida contenente del vapore a 20 millimetri di tensione.

Sembra quasi inutile l'avvertire che, poste tutte le altre cose eguali, l'acqua che si riduce in vapore in un dato tempo sia proporzionale all'ampiezza della superficie sulla quale il vapore si genera (1).

Gli altri liquidi svaporano all'aria aperta secondo le stesse leggi dell'acqua; si può solamente dire riguardo ai medesimi, che la rapidità dell'evaporazione è proporzionale alla tensione del vapore; perciocchè, generalmente parlando, nell'aria non trovansi vapori antecedenti, i quali ritardino l'evaporazione col premere la superficie del liquido.

Nella Meteorologia cadrà in acconcio di osservare tutti i naturali fenomeni che nascono dalla formazione dei vapori, dal loro tenersi sospesi nell'aria e dal condensarsi sotto forma di pioggia, di rugiada, di gelata, ec.

Del freddo che si genera per l'evaporazione.—Quando un liquido bolle ad aria aperta, esso serba una temperatura costante, perciocchè riceve dal fuoco, attraverso alle pareti del vase, tanto calorico per quanto ne è assorbito da' vapori che si formano; quando l'ebollizione si fa sotto al recipiente della macchina pneumatica, la temperatura gradatamente si abbassa; perciocchè allora dalla massa liquida e da' corpi circostanti deve il vapore prendere il calorico necessario alla sua formazione. Noi vedremo appresso che un grammo di vapore acqueo assorbe, formandosi, tanto calorico latente da potere elevare di un grado la temperatura di 530 grammi di acqua liquida, quindi si può giudicare della rapidità con la quale si abbassa la temperatura di una massa liquida, esposta ad una ebollizione spontanea o ad una rapida evaporazione. Noi indicheremo le più maravigliose esperienze che dipendono da questo principio.

Congelazione dell'acqua nel vuoto.—Sotto al recipiente della macchina pneumatica si pone un largo vase di vetro nel quale vi sia dell'acido solforico; all'altezza di circa un pollice al di sopra, si dispone una sottilissima coppa metallica molto slargata la quale contenga qualche grammo di acqua: questa coppa comunemente è sostenuta da tre fili o da tre striscioline di metallo molto sottili le quali si accomodano sugli orli del vase di vetro. Dopo alcuni colpi di stantuffo, l'acqua si vedrà bollire; continuando a fare il vuoto l'ebollizione cesserà, e quando il vuoto sarà fatto per quanto si possa compiutamente, aspettando qualche minuto, si vedran dei aghi di ghiacciuolo apparir nella coppa, e tosto tutta l'acqua contenuta nella medesima divenir solida. Questa piacevole esperienza fu fatta la prima volta da Leslie. L'acido solforico assorbe il vapore acqueo a misura che si forma, ed agevola in pari tempo l'evaporazione. Ogni corpo dotato di gran pote-

(1) L'evaporazione è aiutata dalla maggior superficie, e però l'acqua evapora meglio quando inzuppa una spugna o altro corpo assai poroso, conciossiachè questo presenta all'aria una maggior superficie che ripiegata in varie guise sta in piccolo spazio raccolta. Per la stessa ragione una stoffa bagnata asciugasi più presto essendo distesa, che piegata a più doppi. La quantità poi di vapore emesso in dato tempo, poste le altre cose eguali, è in ragione della superficie, trattandosi di piccoli vasi, siccome sperimentò il Lambert. Ma trattandosi di vasi amplissimi, come stagni, laghi, ec. non può mai aversi un'evaporazione che segua la ragione delle superficie. Perciocchè, sebbene considerando la superficie di un lago come divisa in due parti l'una dall'altra allontanata, si debba avere in entrambe queste superficie una evaporazione doppia di quella che si avrebbe in una sola, pure non può lo stesso accadere quando queste superficie si tengono vicine, perciocchè l'aria umida, che abbandona una di queste metà non è mai interamente supplita da aria asciutta, ma in parte dall'aria proveniente dall'altra metà.

Mi par degno di esser notato, come sebbene il vapore già formato sovrastando alla superficie del liquido diviene ostacolo alla ulteriore evaporazione, pure mentre l'aria è saturata di un dato vapore è nel caso di poterne ricevere altri di altro liquido. Il vapore del primo liquido non genera un ritardo maggiore di quello che nascerebbe dall'aria asciutta. Laonde se un volume d'aria sia saturo di vapore acqueo, ciò non sarà d'impedimento all'evaporar dell'alcool, dell'etere, ec. *Belli Corso di Fisica* vol. III. *Bellani nel Giornale di Fisica di Pavia*.

Finalmente si avverta che anche il ghiaccio svapora, perciocchè stando all'aria aperta a temperature molto più basse dello 0, scema insensibilmente di peso, ed in fine svanisce.

re di assorbire i vapori sarebbe atto a produrre l'effetto medesimo; la farina di biada alquanto abbrustolita riesce assai buona. La coppa si fa sottilissima, perciocchè essa deve partecipare al raffreddamento, e s'isola dai corpi vicini, affinchè non riceva calorico dai medesimi (*fig.* 213, tav. 10).

Una congelazione, la quale dipenda dallo stesso principio, si può anche più comodamente ottenere con l'apparato descritto nella figura 212, tav. 10. Esso consiste in un tubo contenente un poco d'acqua, che si fa pria bollire per farne uscire l'aria, e la cui parte superiore è circondata da un cilindro nel quale si versa un meseuglio refrigerante.

Congelazione del mercurio.—Il raffreddamento generato per evaporazione può essere spinto tant'oltre da far congelare il mercurio. Per conseguire ciò si circonda la pallina del termometro con una piccola spugna, o con qualche tessuto spugnoso, e si bagna con carburo di solfo, o forse meglio con acido solforoso liquido: l'evaporazione sarà così rapida, e la quantità di calorico sottratto così considerabile, che la colonna di mercurio presto scenderà a—10,—20,—30°, e dopo breve tempo tutto il mercurio contenuto nella pallina sarà congelato (1).

Il freddo che sentesi sulla mano, allorchè vi cade qualche goccia di un liquido volatile, ed in generale il freddo che si sperimenta alla superficie de' corpi umidi, son fenomeni che nascono dalla medesima cagione.

Gli *alcarazas* de' quali si valgono in Ispagna ed in altri luoghi per raffreddare l'acqua ed altre bevande spiritose, son vasi porosi i quali presentano all' evaporazione una grande superficie umida. Il liquido di dentro trapela attraverso alle pareti, e presto riducesi in vapore in un'aria alquanto agitata: e poichè questa operazione continuamente si ripete, perciò il vaso, ed il liquido in esso contenuto, si manterranno ad una temperatura di 10, 15 ed anche 20° al di sotto di quella dell'ambiente.

Per una simile ragione le piante debbono generalmente tenersi ad una temperatura più bassa di quella dell'aria, perciocchè i loro tessuti esterni fanno più o meno l'ufficio di *alcarazas* (2).

La copiosa traspirazione e l'esalazione che continuamente avvengono sulla superficie dei corpi viventi sono del pari cagioni di raffreddamento; noi vedremo appresso, parlando del calore animale; che il sangue degli animali a sangue caldo ha una temperatura costante che non si può abbassare o elevare, senza arrecare i più gravi inconvenienti, e che non può variare di qualche grado, senza esser seguita dalla morte. Per l'uomo, sia quale si voglia il clima da lui abitato, questa invariabile temperatura è di 37°. Onde sotto la zona torrida, dove la temperatura dell'aria giunge a 50°, gli uomini vivono in quell'ardente atmosfera, senza partecipare alla temperatura: l'efficacia della traspirazione è continuamente proporzionale alla intensità del calore; e coteste contrarie cagioni si equilibrano con tale armonia, da far che il sangue di un Negro resti a 37° come quello di un Lappone.

130 *ter.* Quanto abbiam detto sulle cause che fan variare l'ebollizione del liquido, mostra a sufficienza quanto sia dilicata, e quanta precauzione esiga la ricerca d'un cotal punto. Essa intanto è di grande interesse per la scienza, ed io m'affretto a dare i risultamenti seguenti, ottenuti da Pierre. Si può esser sicuri che i liquidi da lui assoggettati all' esperienza eran purissimi, e che egli non ha trascurato cura alcuna in questa difficile determinazione.

(1) Toccando il mercurio così renduto solido, si sente come una scottatura, effetto della somma concitabilità di questo metallo per lo calorico.

(2) Si comprende anche perchè le piante debbano soffrire il maggiore raffreddamento, quando essendo coverte dalla gelata, spunta il sole e la liquefa, riducendola poscia in vapori: allora è che sogliono gli umori di esse, chiusi ne' loro vasellini, congelarsi e crescendo di volume rompere le pareti de' medesimi, distruggendo così l'organismo della pianta. Per la qual cosa converrebbe pria che spunti il sole spruzzare sulle piante acqua fredda. E chiaro poi gli umori delle piante doversi congelare ad una temperatura inferiore a quella della congelazione dell'acqua.

Tavola de' punti di ebollizione di diversi liquidi, secondo le sperienze di Pierre.

NOMI DE' LIQUIDI	FORMOLE	TEMPERAT. dell'ebollir.	PRESSIONE
Alcool etilico	$C^4H^6O^2$	78°,3	0^m,758 00
Ossido d' etile (etere ordinario) . . .	C^4H^5O	35 ,5	0 ,755 80
Cloruro d'etile (etere cloroidrico dell' alcool)	C^4H^5Cl.	11,0	0.758 00
Bromuro d'etile (etere bromoidrico dell' alcool)	C^4H^5Br.	40,7	0.757 10
Ioduro etilico (etere iodoidrico, id.) .	C^4H^5I	70,0	0,751 70
Etere acetico di alcool (acetato d' ossido d' etile)	$C^4H^5O,C^4H^3O^3$	74,14	0,766 50
Formiato d' ossido d' etile (etere formico dell' alcool)	C^4H^5O,C^2HO^3	52,9	0,752 00
Butirrato d' ossido d' etile (etere butirrico dell' alcool)	$C^4H^5O,C^8H^7O^3$	119,0	0,746 50
Alcool metilico (spirito di legno) . .	$C^2H^4O^2$	63,0	0,753 48
Bromuro di metile (etere bromoidrico dello spirito di legno	C^2H^3Br.	13,0	0,759 00
Ioduro di metile (etere iodoidrico, id.) .	C^2H^3I	43,8	0,750 20
Acetato d' ossido di metile (etere acetico dello spirito di legno)	$C^2H^3O,C^4H^3O^3$	59,5	0,761 20
Butirrato d'ossido di metile (etere butirrico dello spirito di legno)	$C^2H^3O,C^8H^7O^3$	102,1	0,743 90
Alcool amilico (olio di pomi di terra) .	$C^{10}H^{12}O^2$	131,8	0,751 46
Cloruro d'amile (etere cloroidrico dell' olio de' pomi di terra	$C^{10}H^{11}Cl$.	101,75	0,752 42
Cloruro d' etile monoclorurato . . .	$C^4H^4Cl^2$	64,8	0,754 05
Cloruro d' etile biclorurato	$C^4H^3Cl^3$	74,9	0,758 26
Liquore degli Olandesi	$C^4H^4Cl^2$	84,92	0,761 88
Idem monoclorurato.	$C^4H^3Cl^3$	114,22	0,755 70
Idem biclorurato	$C^4H^2Cl^4$	138,6	0,763 39
Idem triclorurato	$C^4H^3Cl^5$	153,8	0,763 35
Protocloruro di carbonio.	C^4Cl^4	123,9	0,761 79
Bicloruro di carbonio.	C^2Cl^4	78,1	0,748 27
Solfuro di carbonio	CS^2	47,9	0,755 80
Bisolfuro di metile	$C^2H^3S^2$	112,1	0,743 80
Solfocianuro di metile	C^2H^3,C^2AzS^2	132,86	0,757 21
Acido solforoso	SO^2	—8,0	0,759 18
Etere solforoso	C^4H^5O,SO^2	160,3	0,768 76
Aldeide.	$C^4H^4O^2$	22,0	0,758 22
Acido butirrico monoidrato	$C^8H^8O^4$.	163,0	0,750 55
Cloruro di silicio	SiCl	59,0	0,760 08
Bromuro di silicio.	SiBr	153,3	0.762 50
Liquore di bromo degli Olandesi . . .	$C^4H^4Br^2$	132,6	0.756 90

NOMI DE' LIQUIDI	FORMOLE	TEMPERAT. dell'ebollì.	PRESSIONE
Protocloruro di fosforo	$PhCl^3$	78,34	0,751 50
Protobromuro di fosforo	$PhBr^3$	175,3	0,760 21
Protocloruro d'arseniro	$AsCl^3$	138,81	0,756 90
Bicloruro di titano	$TiCl^2$	136,0	0,762 30
Bicloruro di stagno	$SnCl^2$	115,4	0,753 10
Bromo	Br	63,00	0,760 02
Terebinto	C^5H^4	161,00	0,743 80

CAPO V.

CALDAJE A VAPORE.—MACCHINE A BASSA ED ALTA PRESSIONE.—MACCHINE LOCOMOTIVE.

Le applicazioni del vapore son troppo estese, e generalmente domandano delle conoscenze di meccanica troppo elevate, perchè sia possibile d'intenderle in modo compiuto nell'insegnamento elementare della fisica. Da un'altra parte esse acquistano ogni giorno maggiore importanza tanto per la scienza stessa, quanto per l'industria, in guisa che meritano assolutamente di entrare in una certa maniera nel comune insegnamento: non è più permesso oggi d'ignorare come il vapore si genera nelle caldaie, come si è giunto ad impedire i pericoli dello scoppio, come la forza meccanica del combustibile passa dal fornello alla caldaia, dalla caldaia allo stantuffo, dallo stantuffo alla macchina e dallo stantuffo alla locomotiva, al piroscafo, alla mola del mulino, alle macchine filande, ec. Per la qual cosa sonomi di nuovo ingegnato di fare intendere al comune de' giovani i principî fondamentali di tutte queste grandi applicazioni del vapore. Dedicando a questo subbietto un capo a parte, ho stimato conveniente dividerlo in tre distinzioni, nel primo paragrafo si parlerà delle caldaie a vapore e de' mezzi di sicurezza; nel secondo delle macchine a bassa ed alta pressione, e nel terzo da ultimo si darà la descrizione delle macchina locomotiva di Stephenson.

§ 1. — *Caldaie a vapore.*

151. La costruzione delle macchine a vapore si è a mano a mano perfezionata, e tuttavia si va perfezionando. Da prima tutte le caldaie erano di rame; indi si fecero dei saggi col ferro fuso, ed oggi si fanno quasi solo di ferro in lamine. Il ferro laminato si lavora agevolmente, è tenace per resistere alle pressioni, e finalmente non si altera in breve tempo in contatto dell'acqua e del fuoco.

La forma delle caldaie ha in mille guise variato, nè di ciò deve alcuno maravigliarsi, qualora si ponga mente a tutte le condizioni cui si deve soddisfare: ed in vero, s'intende non esser sufficiente che una caldaia abbia una grande superficie di riscaldamento per generar vapore che dia una forza di 20 o di 100 cavalli, nè esser sufficiente che tale quantità di vapore si generi con economia di combustibile, perocchè è mestieri eziandio che si possa agevolmente pulire di dentro e di fuori; al di dentro per impedire i depositi calcarei, cagioni di consumo e di scoppio; al di fuori affinchè i depositi di fuliggine non impediscano il contatto della fiamma ed il passaggio del calorico. È mestieri ch'essa resista alla corrosione del fuoco e dell'acqua, non che agli effetti della dilatazione e del restringimento, e che si possa agevolmente ripararla in tutte le sue parti; è duopo ancora che occupi un piccolo spazio, e, quando non è ordinata per macchine fisse, ma per la navigazione o per le strade ferrate, conviene che abbia sufficiente quantità di acqua, che dia bastante copia di vapore e che con tutto questo non riesca molto pesante. Da ultimo dopo tutte queste condizioni si richiede che la caldaia non costi troppo, tanto per la sua fattura quanto per la manutenzione, e che utilizzi il combustibile al meglio possibile.

Noi non possiamo descrivere le caldaie in tutte le loro forme, ma descriveremo la *caldaia a bollitoi* (*à bouilleurs*) generalmente in

uso per le macchine fisse ed una caldaia tubulare adottata con vantaggio in marina.

Caldaia a bollitoi.—Questa caldaia è rappresentata nella sua sezione longitudinale e trasversale nelle figure 1 e 2 della tavola 11; essa è composta del corpo *a* della caldaia, che è un cilindro terminato da due emisferii, e di due bollitoi *b* e *b'*, i cui estremi anteriori si appoggiano sulla fabbrica del fornello; ogni bollitoio comunica col corpo della caldaia mercè due o tre larghi e corti tubi *c*; nella figura ve n'ha tre, essendo la caldaia lunga circa 6 metri.

L'acqua riempie perfettamente i bollitoi, ed il suo livello deve essere mantenuto verso il mezzo dell'altezza della caldaia, il che si conosce mercè la colonna di livello *d*, con la quale son giunti due cannelli orizzontali, uno superiore che comunica col vapore, e l'altro inferiore che comunica con l'acqua.

Il vapore formato esce pel grosso tubo *e* che si difende dal raffreddamento, circondandolo con sostanze che conducono male il calorico, particolarmente quando esso deve condurre il vapore ad una distanza alquanto grande.

L'acqua di alimentazione, spinta dalla tromba alimentatrice, giunge pel cannello *f*, il quale non si deve aprire nel vapore, ma deve penetrare nell'acqua fin presso al fondo della caldaia, affinchè non si condensi il vapore già formato.

Vediamo ora il moto della fiamma. Il combustibile è gettato sulla graticola *g* per la porta *h*, la quale si apre solo nel momento della carica; l'aria giunge pel ceneraric *i*, passa tra le verghe della graticola, circola attraverso della massa del carbone, animandone la combustione; la fiamma più o meno lunga, secondo la natura del combustibile, entra nel condotto *k* sotto i bollitoi, i quali ricevono così la prima azione della fiamma; essa si ripiega quindi contro la volta *l*, entra nell'interno condotto *m*, perchè l'intervallo tra i grossi cannelli è chiuso con fabbrica a mattoni, riscalda così la parte di sopra dei bollitoi ed il fondo stesso della caldaia; ritornata verso l'estremo superiore della caldaia *a* si divide in due parti l'una che va a destra pel condotto esterno *n*, e l'altra che va a sinistra pel condotto esterno *n'* (*fig.* 2), per questo modo le pareti laterali della caldaia sono riscaldate in tutta l'altezza che è al di sotto del livello dell'acqua; giunta finalmente la fiamma all'estremo della caldaia, passa nel cammino ove essa è chiamata dall'aspirazione (*tirage*). Il registro *o* è ordinato a regolare l'efficacia della combustione.

Il vapore formato nella *camera a vapore*, ossia in tutto lo spazio della caldaia non occupato dall'acqua, impedirebbe l'ebollizione, se esso avesse sempre una tensione eguale a quella del vapore che deve generarsi; ma come prima il vapore scappa dalla caldaia, per andare nella macchina a dar moto allo stantuffo, tosto scema la pressione nella camera a vapore, ed allora appunto avviene un bollimento più o meno rapido. Tosto che la pressione è alquanto diminuita l'acqua de' bollitoi entra in ebollizione, il vapore formato passa attraverso dei grossi cannelli, e quindi attraverso dell'acqua della caldaia, e va nella camera a prendere il luogo del vapore che ne uscì. Per la qual cosa se la pressione in un momento, di molto si scemasse, il gran volume di vapore che verrebbe svolgendosi, innalzerebbe tutta la massa di acqua per gettarla nella canna di uscita, e quindi nel cilindro della macchina. Si suol dire allora che l'acqua avvanza (*prime*) o che spumeggia (*mousse*). Questo inconveniente si evita facendo la camera a vapore di una larghezza bastante. Se p. e. il cilindro della macchina abbia un metro cubico di capacità e lo stantuffo lo percorra in 1', la camera dovrà dare un metro cubico di vapore per volta. Or se la camera avesse giusto la capacità di un metro cubico, essa non potrebbe alimentare il cilindro, senza generare una grande diminuzione di pressione, ogni volta che lo stantuffo passerebbe per lo mezzo della sua corsa; perocchè è quello il punto di sua maggiore velocità. È però che alla camera dassi una capacità 15 o 20 volte maggiore di quella del cilindro.

È mestieri ancora che le comunicazioni tra i bollitoi e la caldaia siano ben larghe; affinchè il vapore possa agevolmente passare, ed in sua vece subito entrarvi l'acqua. Ho per esperienza conosciuto che il vapore sale lentamente nella caldaia, percorrendo appena un terzo di metro per ogni minuto secondo. Laonde se la somma delle sezioni de' larghi cannelli fosse di un metro, essa non potrebbe dare passaggio se non che ad un terzo di metro cubico per minuto secondo, e se, per una maggior superficie di riscaldamento, il bollitoio ne potesse svolgere una maggiore quantità, le canne di comunicazione resterebbero piene di vapore, l'acqua non vi discenderebbe, il bollitoio si vuoterebbe di acqua, e poco dopo diverrebbe rovente; e quando, per la cessazione del lavoro o per qualsivoglia altra cagione, l'acqua ricadrebbe nel bollitoio così riscaldato, si avrebbe senza fallo uno scoppio. Egli è dunque necessario proporzionare la sezione della canna alla superficie di riscaldamento de' bollitoi.

Un somigliante pericolo di scoppio avrebbesi, se il livello dell'acqua scendesse troppo nella caldaia, al di sotto della linea superiore dei cammini di riscaldamento della parete laterale (*fig.* 2). Se l'acqua si facesse tornare al suo livello, mercè un'alimentazione troppo rapida, le pareti troppo riscaldate potrebbero in un momento fare svolgere una soverchia quantità di vapore.

Da ultimo quando l'acqua si svolge in vapore i sali in essa contenuti si precipitano: talvolta le molecole solide si uniscono in modo da formare una massa poco resistente, e talvolta formano delle *incrostazioni* dure come le pietre. In alcune caldaie poco curate, le incrostazioni sono talvolta giunte a parecchi centimetri di grossezza, e formare così una vera caldaia di pietra entro la caldaia metallica. Allora il calorico passa con difficoltà, la caldaia si presta male al suo uffizio, rendendo il fuoco più energico, il metallo si arroventa, e se la incrostazione si scretola o si stacca, l'acqua si troverà in contatto di una superficie troppo riscaldata, per cui il pericolo dello scoppio diviene imminente.

Nelle caldaie a vapore dunque è grandemente da temere un *soverchio riscaldamento accidentale* delle pareti, sia che esso derivi da una *cattiva circolazione* dell'acqua, da un *abbassamento di livello* o da *una incrostazione*. Ecco la cagione degli scoppi i più spaventevoli.

V'ha intanto una seconda cagione di scoppio ed è *il troppo riscaldamento generale*, ossia quello che deriva da un lento e progressivo accrescimento di temperatura in tutta la massa del liquido, quando o il fuoco è troppo vivo, o si genera più vapore di quello che si consuma. Allora si avrà da per tutto un eccesso di pressione, che può vincere le resistenze delle parti più deboli della caldaia, sia che la loro debolezza derivi da vizio nella fabbrica della medesima o da consumo per l'uso ed ossidazione, ec.

151 *bis. Apparecchi di sicurezza.* — Il termometro, il manometro, e la valvola o animella di sicurezza sono i rimedi che si oppongono alla seconda cagione di scoppio.

Il *termometro* indicando la temperatura, fa anche conoscere quale è la tensione del vapore, perocchè sulla scala de' gradi stanno anche indicate le pressioni di atmosfere secondo la tavola rapportata alla pag. 168. Per questa ragione esso viene talvolta denominato *termo-manometro*. Conviene aver cura di non esporre direttamente il riserbatoio del termometro al contatto dell'acqua o del vapore, perchè con le alte temperature corroderebbero il cristallo. Si pone perciò in un astuccio che gli partecipa il suo calorico.

Il *manometro* fa conoscere direttamente la pressione del vapore. Si fa uso di due specie di manometri, del *manometro ad aria libera*, e del manometro ad *aria compressa*.

Manometro ad aria libera. — Questo strumento è espresso dalla figura 6 e 7 della tavola 11. Il vapore giunge sul mercurio del pozzetto *a*, o forse meglio, esso opera sulla colonna di acqua che empie il pozzetto ed il cannello di comunicazione; il suo sforzo fa salire il mercurio nel cannello di ferro *b* (*fig.* 6). Al di sopra di questo cannello sta una carrucola mobilissima *c*, sopra la quale passa un filo, ad un estremo del quale trovasi un galleggiante di ferro *f*, che si adagia sul mercurio, ed all'altro un contrappeso *p*, il quale pesa poco meno del galleggiante. Quando il mercurio sale spinge il galleggiante ed il contrappeso discende; al contrario quando il mercurio si abbassa, il contrappeso ascende, perchè il contrappeso, uscendo un poco più fuori del mercurio, rendesi più pesante da generare squilibrio. Con un cannello verticale *b* di 1, 2, 3 o 4 volte 76 centimetri di altezza si può dunque misurare una pressione di 1, 2, 3 o 4 atmosfere. Questi numeri si scrivono sulla scala del contrappeso, siccome viene dalla figura dinotato; ma in tale graduazione è mestieri tener ragione dell'altezza verticale della colonna di acqua, la quale preme di per se sul pozzetto di mercurio. Questo strumento ha qualche imperfezione: affinchè il galleggiante sia ubbidiente è forza usare cannelli molto larghi, e però molto mercurio, il che riesce di soverchio dispendio. In vece di fare il cannello di ferro si può fare di vetro, ed allora non si ha più mestieri nè di galleggiante nè di girella, perchè la pressione si legge sul cannello stesso; ma i cannelli di vetro son fragili, e se non hanno una certa larghezza, il mercurio tosto li rompe.

Il manometro ad aria libera più in uso è quello rappresentato dalla figura 7; esso è meno sensibile de' precedenti; ma quando le pressioni sono di 5 o 6 atmosfere non si ha bisogno di evitare l'errore di un centimetro, cioè di $\frac{1}{400}$ o di $\frac{1}{500}$ del loro valore. Esso è composto di un cannello di ferro a due braccia *bcb'*, la cui lunghezza eguaglia tante volte 76 centimetri per quante atmosfere si hanno di pressione massima che si deve misurare. Al braccio *b*, che è un poco più lungo dell'altro, si adatta un cannello di vetro *d*, che è l'indicatore delle pressioni; la sua sezione è quella

o cinque volte più grande della sezione del cannello di ferro. Questo strumento s' introduce nel suolo in modo che la parte superiore della branca *b* sia presso a poco a livello dell' acqua nella caldaia, e mercè la cannella con rhiavetta *t*, che si unisce al pozzetto *a*, si fa comunicare o col vapore o con l' acqua stessa. Il cannello *ef* che parte dal sommo dell' indicatore è ordinato a recare nel riserbatoio aperto *g* il mercurio che, in caso di pressione straordinaria, potrebbe essere gettato fuori dell' indicatore.

Per graduare questo manometro si versa da prima del mercurio nel pozzetto *a* in modo da empiere il cannello di ferro e la parte inferiore del cannello di vetro fino alla linea di livello *nn'*. Allora, se il braccio *b* del cannello di ferro è ben calibrato, egualmente che il cannello di vetro, basterà conoscere la ragione *s* della sezione del secondo per rispetto a quella del primo per potere scrivere la graduazione. E per fermo supponiamo che il pozzetto *a* comunichi con un riserbatoio di acqua sulla quale, mercè un fluido elastico, si operi una pressione di un numero *p* di atmosfere; sia *h* la costante altezza di livello del riserbatoio al di sopra della linea *nn'*: il mercurio discenderà al di sotto di *n* nella branca *b*, ed ascenderà al di sopra di *n'* nel cannello indicatore *d*: sia *z* l' altezza per cui si eleva espressa in centimetri; perchè la sezione dell' indicatore è *s* volte maggiore di quella del cannello di ferro esso sarà disceso di *sz* nel medesimo: la differenza di livello dunque del mercurio sarà $z + sz$; questa differenza esprime la pressione che si opera sul sommo della colonna di mercurio nel cannello *b*, aggiuntavi la pressione atmosferica che opera sull' indicatore stesso; se si toglie la pressione dell' acqua, si avrà evidentemente quella del fluido elastico, che opera nel riserbatoio sulla superficie del liquido. Or la colonna avea da prima un' altezza *h* al di sopra della linea *nn'*; ancora essa è discesa come il mercurio di *sz* al di sotto di questa linea; la sua altezza è dunque $h + sz$. È mestieri trasformarla in colonna di mercurio, e però dividerla per la densità *d* del mercurio per rispetto a quella dell' acqua, il che dà

$$z + sz - \frac{h + sz}{d}$$

per la pressione del fluido elastico, aggiuntavi la pressione atmosferica. Ma questa pressione, che noi abbiamo rappresentata con *p* atmosfere, è di $p - 1$ atmosfere al di sopra della pressione atmosferica: moltiplicandola per 76 si trasforma in centimetri di mercurio, e si ha finalmente

$$s + sz - \frac{h + sz}{d} = (p - 1)\,76$$

d' onde si ricava

$$= \frac{(p-1)\,76\,d + h}{d + s\,(d-1)}.$$

h e *d* essendo quantità conosciute, basterà fare in questa formola $p = 1, \frac{5}{4}, \frac{6}{4}, \frac{7}{4}$, ec., per avere partendo da *n'* il numero dei centimetri, di rincontro a' quali bisognerà scrivere sulla scala un'atmosfera, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, ec.

Si vede che ponendo, siccome abbiamo indicato, la linea di livello *nn'* all' altezza del livello dell' acqua nella caldaia, si avrà $h = o$, e la formula diventerà più semplice. I valori di *z* diventano proporzionali alle pressioni.

In vece di fare questa *graduazione teorica*, i cui elementi è difficile avere con esattezza, è generalmente più sicuro ricorrere ad una *graduazione pratica*, cui si perviene nel seguente modo; si adopera una tromba premente, la camera della quale è messa in comunicazione da una parte col pozzetto *a* del manometro da graduarsi, e dall' altra con un buon manometro ad aria libera, a cannello di cristallo; facendo operare la tromba, i due manometri ascendono insieme, ed allora si segnano sul primo le pressioni indicate dal secondo.

Cotesti strumenti sono fabbricati con molta diligenza dal Desbordes, insieme a tutti gli strumenti di sicurezza delle caldaie a vapore.

Manometro ad aria compressa. — Questo manometro è rappresentato dalla figura 10; esso è composto di un cannello dritto di cristallo *t*, chiuso al suo estremo superiore, e con l' estremo inferiore immerso nel mercurio di una vaschetta di vetro *v*: questa vaschetta sta in un cilindro di bronzo alquanto più largo di essa, ed il cannello di vetro è ben fermato alla parte superiore di questo cilindro. Il vapore, o forse meglio l' acqua della caldaia, penetra per la chiavetta *r*, passa intorno alla vaschetta di vetro, e va a premere sul mercurio, il quale ascenderà nel cannello, comprimendo l' aria che in esso si trova. Questi strumenti possono anche praticamente o teoricamente essere graduati: nel primo caso si procede nel modo poc' anzi detto pel manometro ad aria libera; nel secondo caso è mestieri scegliere de' cannelli ben calibrati; allora il volume dell' aria è proporzionale alla lun-

ghezza che occupa nel cannello. Supponendo per esempio, che il cannello sia pieno di aria, sotto la pressione atmosferica, nel momento in cui si tuffa nel pozzetto, quest'aria starà sotto due pressioni atmosferiche, quando sarà ridotta ad occupare la metà della lunghezza del cannello, sotto 3 quando ne occuperà la terza parte, ec. Ma le pressioni che si esercitano sul pozzetto sono maggiori di quelle che l'aria soffre, esse le superano per quanto è la colonna di mercurio elevata nel cannello. Questa correzione si suole per lo più trascurare, la quale veramente è poco sensibile, quando il cannello manometrico è corto; ma allora si scade in un altro inconveniente, il quale consiste nell'avere piccola differenza negl' intervalli che esprimono 4,5 o 6 atmosfere. Se il cannello manometrico abbia una lunghezza di 76 centimetri, quando il mercurio sale alla metà dell'altezza, l'aria dello strumento soffrirà una pressione di due atmosfere nell'atto che sul pozzetto opera una pressione di due atmosfere e mezzo, perocchè v' hanno i 38 centimetri della colonna di mercurio innalzata, i quali corrispondono a mezza atmosfera.

La graduazione pratica dunque ha un vantaggio sulla graduazione teorica; essa permette di usare cannelli più lunghi, e però di avere manometri più sensibili, e di più allora non è mestieri che i cannelli siano i cilindrici, anzi si può appositamente sceglierli conici e stretti dalla parte di sopra, affinchè lo strumento abbia maggiore sensibilità per le alte pressioni.

Offro qui intanto come per esempio la formola per la graduazione teorica de' manometri cilindrici:

$$n = \frac{(rp+1) - \sqrt{(rp-1)^2 + 4r}}{2}$$

p è il numero di atmosfere che sostiene il pozzetto.

r è uguale a 76 diviso per l, essendo l la intera lunghezza del cannello.

n è la ragione tra la lunghezza della colonna di mercurio innalzata nel cannello e la intera lunghezza del cannello, in modo che $n = \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}$, ec., quando il volume dell'aria è ridotto alla metà, ad un terzo, ad un quarto, ec.

Dando a p successivamente i valori 1, 2, 3, ec., i valori di n indicheranno le altezze alle quali si dovrà sulla scala segnare 1 atmosfera, 2 atmosfere, ec.

Il manometro antecedente *a cannello diritto* ha un difetto: se quando cessa il fuoco, l'assistente dimentica di chiudere la chiavetta r, il cannello perderà senza fallo una gran parte dell' aria che contiene; e per fermo a misura che la caldaia si raffredda, la tensione del vapore diminuisce: a 100° essa è appena di un' atmosfera; al di sotto di 100° comincia a farsi il vuoto, il quale va sempre crescendo, in modo che a 30°, si può dire che al di sopra dell' acqua nella caldaia vi sia il vòto, perocchè la tensione del vapore è appena di 30 millimetri. L'aria del manometro, in virtù del suo eccesso di elasticità, respinge il mercurio dal pozzetto nel cilindro di bronzo, mescolandolo all' acqua in esso contenuta, in tal modo le divisioni della scala non hanno più il loro valore, e lo strumento rimane fuori di uso.

Il *manometro a due rami* della figura 4 è salvo da questi accidenti. Ognuno de' rami t e t' ha un rigonfiamento b e b', ed oltre a ciò si dà alla curvatura bcb' una sufficiente lunghezza. Si gradua disponendolo in modo che la linea nn' sia la linea di livello del mercurio, quando lo strumento è all'aria libera sotto la pressione atmosferica, e si scrive 1 sulla scala verticale delle pressioni, nel luogo dove essa taglia questa linea di livello; indi la graduazione si fa praticamente o teoricamente, siccome di sopra è detto pe' manometri a cannello diritto.

Quando nella caldaia si fa il vòto l' aria viene a ridursi nel globo b, ed il mercurio sale al di sopra di n' nel braccio t', il quale deve avere un' altezza bastante a riceverlo. Se per esempio la capacità del globo b sia tripla di quella del cannello t, partendo dal punto n, l'aria starà sotto un quarto di atmosfera, quando il globo b è pieno, e supponendo anche che il vòto fosse perfetto al di sopra del braccio t', pure si vede che il mercurio non prenderebbe al di sopra di dd', nel braccio t', se non un' altezza di $\frac{76}{4} = 19$ centimetri.

I globi b e b' non sono neppur necessari, imperciocchè, supponendo che le due braccia t e t' siano perfettamente cilindriche ed abbiano lo stesso diametro, egli è agevole il trovare la *depressione* z che il mercurio del braccio t debba soffrire al di sotto del punto n, quando si faccia il vuoto nel braccio t', o generalmente, quando si riduce ad una frazione p di atmosfere la pressione che si esercita in questo braccio sul sommo della colonna di mercurio. Laonde si ha

$$z = \frac{-(l+38p) + \sqrt{(l-38p)^2 + 4.38.l}}{2},$$

l essendo la lunghezza del cannello t al di sopra del punto n; l e z sono espresse in centimetri. Per $p=0$.

$$z=-\frac{l}{2}\left(1-\sqrt{1+4.\frac{38}{l}}\right).$$

Prendendo, per esempio, $l=76$ centimetri si trova $z=27,8$, sopprimendo i globi b e b': basterebbe dunque che la lunghezza della curvatura nen' al di sotto della linea di livello fosse di 28 in 30 centimetri, affinchè l'aria non possa uscire anche quando si facesse il vôto al di sopra del braccio t'.

Valvola di sicurezza.—Abbiamo già fatto conoscere (83) la disposizione generale delle valvole che con la loro carica servono a misurare le pressioni che si operano sopra i liquidi o sopra i fluidi elastici. La valvola di sicurezza non solo è acconcia ad indicare la tensione del vapore come fa il manometro, ma essa è specialmente ordinata ad alzarsi, quando la tensione giunge ad un certo limite, ed a dare uscita a tutto il vapore che in tali congiunture potrebbe formarsi, affin di evitare ogni eccesso di tensione per l'accumularsi di nuovo vapore. Fra il manometro dunque e la valvola di sicurezza corre questa differenza: il manometro addita il pericolo, e la valvola di sicurezza è ordinata a prevenirlo ed a toglierne la cagione.

Da ciò segue che la sezione della valvola di sicurezza deve dipendere dalla estensione della superficie di riscaldamento, cui deve essere proporzionale, imperocchè una superficie di riscaldamento doppia generando nello stesso tempo e nelle stesse condizioni una doppia quantità di vapori, sarà di una doppia apertura per farlo uscire, quando abbia la stessa densità e la stessa tensione. Nel cap. IX abbiamo veduto che le leggi dello scorrere de' fluidi elastici sono imperfettamente conosciute, quando si tratta di grandi differenze di pressione; era dunque necessario di fare delle sperienze dirette sulla velocità di scolo de' vapori nelle diverse condizioni che possono presentare le caldaie. Coteste sperienze sono state fatte per cura del governo; i particolari non sono stati pubblicati, ma i risultamenti son serviti di base a' regolamenti contenuti nelle ordinanze risguardanti le macchine a vapore (ordinanza del 22 maggio 1843). Si richiede dunque che per un metro di superficie di riscaldamento le valvole abbiano le dimensioni che seguono considerate per rispetto alle pressioni

Pressi. in atmo.	2;	3;	3;	5;	6
Diam. delle valv. in cent.	2c,063;	1c616;	1c,372;	1c,214;	1c,100.

Queste dimensioni una volta date per 1 metro di superficie di riscaldamento, egli è agevole trovare quelle che corrispondono ad una superficie di 10,20 o 25 metri. Per 25 metri per esempio i diametri delle valvole dovranno essere 5 volte più grandi, perocchè le sezioni sono come i quadrati de' diametri. Per due atmosfere dunque il diametro della valvola sarebbe di 10c,315, cioè di 10 centimetri ed $\frac{1}{3}$; per 6 atmosfere di 5 centimetri e mezzo, ec.

Alcuno forse potrebbe credere tali determinazioni esser poco necessarie, perocchè nessun pericolo vi sarebbe facendo sempre le valvole molto grandi; ma giova considerare che ponendo sopra una caldaia una valvola di troppo grande diametro, nel momento in cui questa si aprirebbe per un eccesso di pressione, il liquido non potrebbe mancare di slanciarsi per ogni verso contro le pareti della caldaia e di produrre forse, per la sua forza viva, gli accidenti che si volevano evitare. E per fermo, se l'acqua della caldaia si trovi per esempio a 153°, e l'apertura della valvola riduca in pochi momenti la pressione da 5 a 2 o 3 atmosfere, non si avrà una semplice ebollizione, ma una proiezione violenta del liquido in tutte le direzioni; sarebbe questo un vero colpo di ariete che verrebbe ad urtare e forse a rompere le pareti. È dunque assolutamente necessario di moderare le sezioni delle valvole, facendole tanto grandi che possano dare uscita al vapore e tanto picciole da non iscemare troppo presto la pressione.

La forma della valvola neppure è indifferente: è mestieri che non resti incertezza rispetto alla sezione sulla quale il vapore esercita la sua pressione; ed il solo modo di evitare siffatta incertezza è di ridurre per quanto è possibile la superficie di contatto della valvola col suo forame. La forma comandata dai regolamenti sopra menzionati pare che sia opportuna; essa è disegnata nella figura 3. Quivi si vede che la superficie della valvola che riceve la pressione è interamente piana, e che sta sopra uno spazio anulare di piccola larghezza il quale forma l'orlo del forame o vogliam dire pezzo fisso; questo spazio è largo due soli millimetri per le valvole che non ol-

trepassano i 6 centimetri di diametro, e riducesi alla terza parte, cioè a 67 centesimi di millimetro, per una valvola di due centimetri di diametro. In quanto alla disposizione della leva che porta il peso di pressione, è mestieri osservare che essa gira intorno ad un asse il quale trovasi perfettamente sulla stessa linea orizzontale del capo della valvola. Per la qual cosa il peso che opera all'estremo della leva conserva tutta là sua efficacia. Se si tratti per esempio di una caldaia di 30 metri quadrati di superficie di riscaldamento col vapore a 6 atmosfere, il diametro della valvola dovrà essere di 6 centimetri, e la superficie di 28cc ,26; è mestieri porre sulla valvola un peso equivalente a 5 atmosfere, perocchè l'aria forma già di per se un'atmosfera; si avrà dunque 5 × 1ch.,033=5ch.,165 per ogni centimetro quadrato, ossia 141 chilogrammi pe'28cc ,26; il capo della valvola essendo p. e. ad un decimetro di distanza dal punto fisso, ed il punto di pressione del peso a 5 decimetri, saranno necessari 28ch.,5 sulla valvola dopo di averne tolto il peso della stessa.

Quando l'eccesso di tensione ha innalzato la leva, la valvola esce fuori del suo forame, ed il vapore liberamente va via.

I tre mezzi di sicurezza de' quali di sopra è detto, il termometro, il manometro e la valvola di sicurezza, possono essere utili contro la seconda cagione di scoppio, che è il riscaldamento generale di tutta la massa di acqua della caldaia, ma nemmeno ci assicurano sempre, perocchè può la caldaia avere qualche vizio di costruttura, può in qualche sua parte essere indebolita dall'uso e diventare così inetta a resistere al vapore. Non è poi impossibile che, in date occasioni e per alcune proprietà dell'acqua e del vapore non ancora ben conosciute, una caldaia in buone condizioni scoppii per lo generale riscaldamento, ad onta degli strumenti sopra descritti.

La prima cagione di scoppio è così improvvisa nel suo operare che in un modo solo si può impedirla, ed è prevenendola ossia badando di evitare il soverchio accidentale riscaldamento delle pareti.

La cattiva circolazione dell'acqua e del vapore si evita con la buona forma e con la buona costruttura della caldaia.

Le incrustazioni poi si evitano in parecchi modi:

1.° Alimentando la caldaia con acqua distillata. Sonosi per questo oggetto immaginati de' condensatori a canne che sono dei veri apparecchi di distillazione, il vapore uscendo dalla macchina entra in queste canne che sono circondate di acqua fredda, vi si condensa, e l'acqua che ne nasce è presa dalla tromba alimentatrice e rimandata alla caldaia. Per tal modo l'acqua è sempre la stessa, e si supplisce alle perdite con particolare apparecchio. Beslay ha molto perfezionato queste maniere di condensatori, e v'ha de' luoghi ove le acque sono così cattive che sarebbe molto utile ad usarli.

2°. Menando nella caldaia de' pomi di terra o della finissima argilla; la presenza di questi corpi stranieri impedisce l'aggregazione de' depositi, e genera una specie di limaccio da cui a quando a quando la caldaia si netta. V'ha delle caldaie che non richiedono niente di tutto questo, perchè essendo alimentate da acque molto buone basta che siano in ogni settimana con diligenza pulite.

3°. Nelle caldaie che si alimentano con acqua di mare si fa quel che dicesi *l'estrazione*, vale a dire che in ogni ora, o anche più spesso si tolgono delle acque sature, accrescendo l'alimentazione. Si fa questa operazione in modo che l'acqua della caldaia non sia mai soprassaturata, il che è agevole, quando si conosce il peso del vapore che si perde e la quantità di sale necessaria a saturare l'acqua alla temperatura alla quale trovasi nella caldaia.

L'abbassamento di livello finalmente si previene ne' modi seguenti:

1°. Mercè la canna di livello di cui di sopra è detto, la quale ad onta di alcune oscillazioni indica bastantemente bene il livello dell'acqua della caldaia.

La figura 16, tav. 11, indica la maniera come è disposto. Se essa viene ad infrangere, l'assistente solleva il piccolo manubrio *m*, e con questo moto chiude le due chiavi *a* e *b*, per le quali si sprigionerebbe il vapore e l'acqua; allora vi ha tutta la libertà per rimettere un altro tubo, che si adagia pel fondo; dopo averne tolto il turaccio *e*; posto al suo luogo questo novello tubo, si chiudono le madreviti *c* e *d*, che stringono le due scatole a stoppa, che ne guarniscono gli estremi.

2°. Mercè due chiavette messe sotto la mano dell'assistente una alquanto al di sopra del giusto livello e l'altra alquanto al disotto; aprendo a quando a quando queste due chiavette l'assistente giudica dello stato della sua caldaia. Se la prima dà acqua il livello è troppo alto, se la seconda dà vapore è troppo basso.

3°. Mercè il *galleggiante indicatore* p' di

Chaussenot vecchio. Questo strumento è composto di una sfera vuota di metallo, congiunta, siccome vien dinotato dalla figura 2, tavola 11, ad un'asta curva tenuta tra due punti o sostegni fissi q, ed oscillante liberissimamente; il contrappeso p' equilibra in parte il galleggiante. Un filo di metallo rr' legato al galleggiante p traversa una cavità foderata di stoppa, e sale verticalmente per congiungersi all'indicatore r' (*fig.* 1); allo stesso indicatore si congiunge un altro filo il quale passa sulla rotella r'' e porta un secondo contrappeso p''; mercè i contrappesi p' e p'', il galleggiante è per metà immerso nell'acqua. Come prima il livello si alza o si abbassa nella caldaia, l'indicatore r' ne segna i moti avvertendone l'assistente.

4°. Mercè il *galleggiante di allarme*. Questo gallegiante t è disposto come il precedente, se non che nell'asta che lo porta, in una parte dritta t' è fermata una valvola u, la quale chiude l'orillzio di una canna per la quale il vapore può uscire; quando vi ha troppo acqua, il galleggiante a tre quarti immerso, è spinto in alto e preme fortemente la valvola verso l'orifizio ma se il livello si abbassa, il galleggiante perdendo una parte minore di suo peso tendera a discendere, e discenderà realmente quando il suo eccesso di peso sarà tale da vincere la pressione del vapore contro la valvola. Allora l'orifizio si apre, il vapore n'esce con violenza ed il fistio v rende un suono acuto e penetrante, da potersi sentire da molta distanza: per tal modo tutti coloro che sono nelle vicinanze sono avvisati che l'acqua non è al suo livello. Il fistio è rappresentato più in grande nella figura 5, tav. 11 altro non è se non che una campana di bronzo il cui orlo inferiore tagliato ad ugna si presenta al di sopra della fenditura circolare per la quale esce il vapore; il che costituisce perfettamente la imboccatura di un fistio comune.

Una canna x, y. *fig.* 2, riceve il vapore del fistio e lo conduce nel fornello per ispegnere il fuoco.

5°. Mercè il *galleggiante esterno* di Daliot. Questo consiste in una canna di ferro ab di 2 o 3 centimetri di diametro, la quale per alcuni centimetri è immersa al di sotto del livello; alla sua parte di sopra porta un cilindro di cristallo cc, *fig.* 11, di circa 10 centimetri di diametro, il quale dal canto suo è terminato da un coperchio con chiavetta r. In questo cilindro trovasi un galleggiante visibilissimo di un diametro poco minore di quello del cilindro, quale sarebbe per esempio una sfera di sughero o di metallo vuota, f; aprendo la chiavetta r, la pressione del vapore fa salire l'acqua della caldaia che in breve tempo riempie l'apparecchio; allora il gallegiante è spinto al sommo del cilindro di cristallo; ma esso ricade sulla base; tosto che il livello scende al di sotto dell'estremo a della canna, perocchè l'acqua scorre nella caldaia ed il suo luogo viene occupato dal vapore, onde il galleggiante non è più sostenuto: in tal modo si conosce esser l'acqua in difetto. Questo strumento è utilissimo nella navigazione pe'fiumi, dove le oscillazioni delle navi non sono molto grandi. Il gallegiante si colloca sul ponte, e se il livello dell'acqua nella caldaia scende al di sotto dell'indice tutti possono avvedersene.

Per compiere tutt'i mezzi di sicurezza si richiede in Francia che il metallo delle caldaie cilindriche a vapore abbia certe grossezze determinate in ragione del diametro del cilindro e della interna pressione del vapore. Coteste grossezze sono indicate nel seguente specchio il quale è comune alle caldaie di lamine di ferro e di lamine di rame.

Diametro delle caldaie in centimetri	Grossezza del metallo in millimetri per le pressioni espresse in atmosfere al sommo di ogni colonna						
	2 atmosf.	3 atmosf.	4 atmosf.	5 atmosf.	6 atmosf.	7 atmosf.	8 atmosf.
m	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
0,50	3,90	4.80	5,70	6.60	7,70	8,40	9,30
0,55	3.99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93
0,60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
0.65	4,17	5,34	6,31	7,68	8,85	10,02	11,19
0.70	4.26	5,52	6.78	8,04	9,30	10,56	11,82
0,75	4.35	5,70	7.05	8,40	9,75	11,10	12,45
0,80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,20	11,64	13,08
0.85	4,53	6.06	7.59	9,12	11,65	12,18	13,71
0.90	4.62	6,24	7,86	9,48	11,10	12,72	14,34
0,95	4.71	6,42	8.13	9,84	11,55	13 26	14,97
1,00	4.80	6.60	8.40	10,20	12,00	13,80	15,60

Proporzioni della caldaia e delle cose che ne dipendono. — Le pratiche osservazioni hau condotto a' risultamenti che seguono, intorno alle varie proporzioni delle caldaie.

1° La forza di un cavallo corrisponde a circa 30 chilogrammi di vapore ad ora, almeno nella maggior parte delle macchine.

2° Nelle caldaie a bollitoi si computa ad un di presso un metro ed un quarto di superficie di riscaldamento per ogni cavallo di forza, compresavi la superficie di *riscaldamento diretto* de' bollitoi, che riceve il calore raggiato dal fornello ed il contatto della fiamma, la superficie di *riscaldamento indiretto* delle pareti laterali della caldaia, la quale è meno efficace, perchè è toccata da' prodotti della combustione, dopo di essersi già molto raffreddati. Laonde il *metro medio* di superficie di riscaldamento dà 24 o 25 chilogrammi di vapore per ogni ora, nell'atto che le sperienze han fatto vedere che un metro di superficie di riscaldamento diretto dà, fino a 240$^{ch.}$ di vapore ad ora, quando il fuoco è molto vivo.

3° Si tien per fermo che per avere una buona combustione non si deve bruciare più di un chilogrammo di carbon fossile ad ora per ogni decimetro quadrato della graticola, compreso il vuoto ed il pieno. Si sa che lo spazio che passa tra le verghe è il quarto o il quinto della totale superficie della graticola. Per la qual cosa si può come dato medio tenere, che 5 decimetri quadrati di graticola son necessarii per ogni cavallo di forza; e se vi ha qualche macchina molto economica, in cui si bruciano 2$^{ch.}$ di carbon fossile (*houille*) per ogni ora e per ogni cavallo, le macchine comuni generalmente ne consumano 5$^{ch.}$.

4° La sezione de' *cammini* o de' *condotti fumarii* deve esser sempre la stessa ed eguale a quella del cammino verticale: suolsi assegnare 1 decimetro quadrato per la forza di un cavallo.

Da questi dati pratici risulta che una caldaia di 20 cavalli deve avere 25 metri di superficie di riscaldamento, 100 decimetri o 1^{m} di graticola e 20 decimetri di cammino; essa consuma circa 100$^{ch.}$ di carbon fossile ad ora.

Le navi a vapore non possono comportare l'enorme peso di una caldaia a bollitoi col suo fornello a mattoni, per cui le caldaie rendonsi più leggiere facendole a *fuoco interiore*; vale a dire son fatte in modo che il fuoco ed i condotti del fumo sono sempre circondati di acqua fino all'apertura del cammino che è di lamina di ferro. Ma dopo di aver soddisfatto a questa condizione, rimane ancora una grande varietà di forme da poter dare alla caldaia, e molte sonosene già immaginate. Per la navigazione de' fiumi si usano generalmente le *caldaie a canne* (*tubulaires*), e la pressione si porta a 5, 6, 7 ed anche ad 8 atmosfere; per la navigazione marittima si rimane nelle basse pressioni di un'atmosfera e mezzo o due atmosfere al massimo, all'infuori degli Stati Uniti, ove senza eccezione si fa uso di alte pressioni. Con le basse pressioni si adoperano caldaie parallelepipede rettangolari ad angoli tondeggianti aventi 4, 6, 8 o 10 fuochi, i cui condotti, anche rettangolari e ad angoli tondeggianti, fanno molti giri orizzontali in mezzo all'acqua prima di entrare nel cammino. Così son fatte quasi tutte le macchine delle grandi navi della marina inglese e francese, della forza di 120 fino a quella di 450 o anche di 7 in 800 cavalli. Per dare un' idea di questa disposizione, riferirò le principali dimensioni della caldaia di 160 cavalli ch'è la forza la più comune. La base è quasi un quadrato di 7 metri di lato; l'altezza verticale de' due fianchi è di 2^{m}, 5, ma verso il mezzo è di 3 metri, perocchè la parte di sopra è alquanto rigonfiata. Sulla faccia anteriore apronsi 6 fornelli, ognuno de' quali ha la graticola di un metro di superficie; i tre fornelli dalla parte destra vanno a metter capo in un condotto ed i tre della sinistra in un altro; questi condotti hanno 1^{m}, 80 di altezza e 0, 5 di larghezza; ciascuno si ripiega 7 volte sopra una lunghezza di circa 2 metri, il che fa 15 o 16 metri di lunghezza; il cammino è molto più stretto, avendo 1^{m}, di diametro. Il volume di questa caldaia è di circa 120 metri cubici, de' quali 30 ne occupa l'acqua, 30 il vapore e 60 i condotti; il suo peso sorpassa le 100 tonnellate; ma il peso dell'acqua non è se non che di 200 chilogrammi per ogni cavallo. La superficie di riscaldamento tanto diretto quanto indiretto è di 230 metri; ma i condotti dalla parte di sotto riscaldano pochissimo.

Da qualche tempo si fanno de' saggi con le caldaie a canne per le navi di gran forza; probabilmente se ne caverà molto profitto.

Le figure 13 e 14 rappresentano una di questi sistemi molto in uso negli Stati-Uniti. In questa caldaja la fiamma va dal focolajo al fondo, attraversando due lunghi condotti veduti in sezione, figura 13, ed in elevato *ab* figura 14; colà, dopo l'urto e la riflessione contro una parete, dietro la quale vi è acqua, si eleva la fiamma per introdursi in un gran numero di fori, e ritornare al di sopra del focolajo, ove trova

il camino; in tutto questo tragetto essa trovasi sempre circondata d' acqua da per ogni dove, fuor che ne' due punti *c* e *d*, dove si sono praticate delle porte per nettare i cannelli, e rimpiazzarli all' occorrenza.

La figura 15 rappresenta una veduta al di sopra de' cannelli di *estrazione*; si vede nella fig. 14 che questi cannelli partono da sotto il focolajo alla parte la più bassa della caldaja in *e*; ciascuno di essi è fornito d' una chiave; apprendo le chiavi, l' acqua saturata di sale s' incammina pel cannello *g* e raggiunge il condotto di uscità *f*.

§ 2. — *Macchine fisse.*

Per rendere più semplice la descrizione della macchina rappresentata nelle figure 1 e 2, tavola 12, la divideremo in due parti il *meccanismo* e la *distribuzione*.

152. Il *meccanismo* comprende il cilindro calibrato *a*, lo stantuffo *b* la cui asta *c* (*tige*) passa attraverso il coperchio *d* accomodato con stoppa per fare uscire il vapore; il bilanciere *efg*, l'asta *h* (*bielle*), la manovella *i*, l'albero girante *k*, di cui si vede solo l' estremo nella figura 1, ed il volante *l*, che sta all' estremo dell' albero *k* e che gira con esso.

Quando il bilanciere oscilla intorno del suo asse *f*, i suoi estremi descrivono degli archi di cerchio *e'e''*, *g'g''*; ed affinchè l' asta dello stantuffo non sia deviata e forzata a seguire l' arco *e'e''*, essa è articolata col bilanciere mercè un congegno conosciuto col nome di *parallelogrammo* di Watt, le cui parti sono dinotate da *e'*. Si dimostra in Meccanica che cotesto parallelogrammo gode di siffatta proprietà. L' asta *h* è semplicemente articolata all' estremo *g* del bilanciere, perocchè non importa che essa percorra l' arco *g'g''*.

Supponiamo per poco che si possa a piacimento fare arrivare il vapore al di sotto dello stantuffo per farlo salire ed al di sopra per farlo discendere; supponghiamo di più che come prima lo stantuffo abbia compiuta la sua corsa salendo, tosto si distrugga il vapore al disotto di esso, in modo da non impedirne la discesa, e che egualmente subito finita la discesa si distrugga il vapore al di sopra in modo da non impedire che possa salire di nuovo, e, ciò supposto, vediamo come la macchina può compiere i suoi movimenti.

Consideriamo lo stantuffo nel sito in cui è rappresentato nella figura; si avrà il vôto sotto e sopra di esso, e si deve farlo discendere. Si fa giungere il vapore da sopra; se il cilindro fosse freddo il vapore si condenserebbe e non produrrebbe nessun effetto; ma noi supponghiamo ch' esso sia alla stessa temperatura del vapore, siccome ordinariamente interviene; allora la pressione del vapore fa discendere lo stantuffo, il quale farà discendere l' estremo *e* del bilanciere facendo salire l' altro *g*; questo tirerà l' asta *h* che opera sulla manovella e la riduce nella verticale superiore; la manovella a sua posta fa girare l'albero e con esso il volante. In questa giacitura conosciuta col nome di *punto morto* superiore, l' asta del volante (*bielle*) essendo in linea retta con la manovella non più opera per farla girare; ma per virtù della velocità acquistata, il volante continua il suo moto di rotazione, e trasporta la manovella, l' asta, il bilanciere e perfino lo stantuffo ch' è spinto in alto. Ma lo stantuffo non potrebbe con tutto questo salire, imperciocchè il vapore di sopra sarebbe un ostacolo tanto più efficace in quanto al di sotto trovasi il vuoto ch' è privo di qualunque forza. Egli è mestieri dunque che distruggasi il vapore di sopra diventato nocivo, e nuovo vapore si faccia giungere dalla parte di sotto; allora le cose saranno cangiate: potenza al di sotto, nessuna resistenza al di sopra. Lo stantuffo ora sale non più per l' azione del volante di cui non ha più bisogno, ma per l' azione del vapore che lo preme, il quale riprende la virtù di motore: l' asta dello stantuffo farà ora salire l'estremo *e* del bilanciere e discendere l' altro *g*, con la corrispondente asta, la manovella ed il volante; e questo effetto dura finchè lo stantuffo è presso al termine di sua corsa, quando la manovella giunge presso al *punto morto inferiore*; allora l' asta non potrebbe far continuare il moto di rotazione, se l'azione del volante non ricomparisse operosa mercè la velocità acquistata; superato il punto morto ricomincia la sua discesa trasportando il volante. Ma in questo momento conviene di nuovo distruggere il vapore nocivo rimasto di sotto allo stantuffo, e far entrare il vapore al di sopra; in tal modo lo stantuffo scenderà di nuovo incalzato dal vapore, e supererà il punto morto per la forza del volante, continuando così i suoi moti alterni, mentre il volante conserva il suo moto continuo di rotazione.

S' intende dunque l' azione del vapore sullo stantuffo e di questo sul volante, quando la manovella è in una giacitura angolare efficace a poter girare mercè lo sforzo dell'asta; indi la reazione del volante sullo stantuffo stesso, quando la menovella giunta presso a'suoi punti morti attacca a sua posta l'asta, quasi perpendicolarmente alla sua direzione per farla girare, trasportando così il bilanciere e lo stantuffo.

D'onde segue che il moto di rotazione del volante non può mai rigorosamente essere uniforme, perrocchè presso a' punti morti perde di velocità e la riacquista nel tempo in cui l'asta opera in modo efficace sulla manovella; ma la sua velocità è periodicamente uniforme, ossia in ogni giro o in ogni doppio moto dello stantuffo, esso riprende le stesse velocità.

Poichè il vapore si estingue quando ha operato il suo effetto, è mestieri che lo stantuffo non rimanga al di sotto tra la superficie inferiore e la base del cilindro alcuno spazio, come neppure al di sopra tra la superficie superiore ed il *cappello*, perocchè se questi spazi restassero pieni di vapore, questo sarebbe distrutto senz' avere operato alcun effetto utile.

D'altra parte le due braccia del bilanciere essendo generalmente eguali, ne segue che la corsa della testa dello stantuffo è perfettamente il doppio della lunghezza della manovella, e tale è anche la interna altezza del cilindro, aggiuntavi la grossezza dello stantuffo.

Non abbiamo tenuto conto finora della resistenza del volante, perocchè veramente nella macchina a *doppio* effetto che stiamo descrivendo, del pari che nelle macchine ad effetto semplice, nelle quali lo stantuffo riceve il vapore da una sola parte, sull' albero del volante si concentrano tutte le resistenze da superarsi. Sia quale si voglia l'effetto meccanico che la macchina deve operare, e che si debba macinare frumento o schiacciare de'semi che contengono olio, triturare stracci, o muovere delle seghe, girare assi, lavorare strumenti ec., ec., sempre la forza si prende sull' albero del volante, e lo si fa generalmente mercè una ruota dentata che gira insieme con esso e dà il moto o ad altre ruote o a tamburi o a catene perpetue o ad altri congegni ordinati a trasmettere la forza dove esso deve il suo effetto utile operare. Laonde tosto che l'albero del volante è in moto, la macchina comincia il suo lavoro.

Le macchine locomotive par che non abbiano volante, ma è agevole l' intendere, che le ruote motrici insieme con la massa stessa della locomotiva, generano effetti del tutto simili; lo stesso puo dirsi delle ruote motrici delle navi a vapore insieme con la massa delle navi stesse. Quando il volante non apparisce esplicitamente esso si trova implicitamente nelle masse che il vapore ha messo in moto da prima, le quali continuano a muoversi per la velocità acquistata.

Coteste considerazioni bastano per fare intendere che le dimensioni del volante debbono per ciascuna macchina dipendere dalla natura del lavoro cui si vuole applicare. Se il lavoro offre una resistenza or nulla ed ora grandissima, qual sarebbe un laminatoio, il volante dovrebbe avere un massimo di potenza, cioè molta massa e grande diametro; negli altri casi, quando la resistenza deve patire variazioni meno grandi, la potenza del volante va scemata, imperciocchè il volante è un *riserbatoio di forza*, il quale se per un momento fa muovere la macchina, facendo l'uffizio di motore, d'altra parte esso *assorbe e consuma inutilmente la forza*, col suo attrito sopra i sostegni, con la resistenza che l' aria gli oppone ec.; conviene dunque attentamente badare a non dargli una massa maggiore del bisogno.

Generalmente la velocità delle macchine (tranne le locomotive) si regola in modo che lo stantuffo abbia una velocità media di 1^m per ogni minuto secondo, un poco meno per le macchine di 5 o 6 cavalli; un poco più per quelle di 30, 50 o 100 cavalli. Siccome è mestieri di una doppia corsa, ossia di un salire e scendere, o di un va e vieni che dir si voglia, affinchè il volante faccia un giro, ne segue che nelle macchine in cui l'altezza del cilindro è di 1^m, vi vuole il tempo di 2'' per la doppia corsa, e quindi per un giro del volante, laonde la velocità sarebbe di 30 giri a minuto. Nelle macchine grandissime in cui la corsa è di quasi due metri, la velocità del volante si riduce generalmente a 15 o 16 giri; nelle macchine più piccole, per contro, nelle quali la corsa è meno di un metro, la velocità giungerebbe a 40, 50 o anche 60 giri a minuto, ma la si scema, scemando la velocità dello stantuffo.

Il diametro del cilindro è generalmente tra il terzo e la metà della corsa. Le sezioni dei condotti del vapore debbono essere di $\frac{1}{20}$ o almeno di $\frac{1}{25}$ della sezione interna del cilindro, o dello stantuffo.

A rendere compiute coteste nozioni necessarie, dobbiamo dir qualche cosa del *cavallo vapore* (*cheval-vapeur*). Si è convenuto di denominare forza di un cavallo, o cavallo vapore, la forza necessaria per elevare con moto continuo un peso di 75 chilogrammi ad 1^m di altezza in 1'' di tempo. Questa definizione vuole essere alquanto rischiarata. Immaginiamo per un momento che il volante faccia 60 giri a minuto secondo, e supponghiamo che sul suo albero porti un tamburo di un metro di circonferenza, sul quale si avvolga una fune la quale scenda in un pozzo; a questa corda che supporremo priva di peso, sia legata una

massa di 750 chilogrammi. Si metta la macchina in moto, questa tosto prenderà la sua ordinaria velocità, ed il peso ascenderà regolarmente in ragione di 1^m a 1". Quivi si ha una certa resistenza superata, un certo lavoro fatto, e questo lavoro sarà definito sempre che sia dato il peso e la velocità con la quale è stato elevato; il che non si avrebbe nel caso in cui si desse solo il peso senza la velocità, perocchè non s'intende fatto lo stesso lavoro quando il peso è salito in ragione di 1^m a minuto secondo, o in ragione di 1^m ad ora. D'onde si vede che il lavoro fatto è in pari tempo proporzionale al peso elevato ed allo spazio percorso in 1", salendo verticalmente; e però esso è eguale al prodotto del peso per lo spazio. Or si è trovato comodo di prendere uno di tali prodotti per unità e di denominare *un cavallo* la forza atta a fare cotesto lavoro; in tal modo si definisce nello stesso tempo la resistenza e la potenza, perocchè veramente l'una è la misura dell'altra. Il prodotto scelto per unità è di 75×1 ossia $75^{ch.}$ innalzati ad 1^m in 1". Siccome questo prodotto rimane lo stesso quando i suoi fattori variano in ragione inversa, s'intende esser necessario lo stesso lavoro per innalzare per esempio $25^{ch.}$ a 3^m in 1", ovvero $3^{ch.}$ a 25^m in 1", o $1^{ch.}$ a 75^m in 1" ec.; e quindi che in tutti questi casi vi vorrà sempre la forza di 1 cavallo. Segue dunque da questo che dinotando in generale con p il peso da innalzarsi, con m il numero de' metri che deve percorrere in 1" salendo in linea verticale, il lavoro da farsi sarà espresso da pm; e se si volesse avere il numero c di cavalli necessari per compierlo si avrebbe

$$c = \frac{pm}{75}.$$

Se per esempio in una giornata di 10 ore si vogliano tirare da una miniera 1800 tonnellate di carbon fossile da una profondità di 27 metri, quanti cavalli saranno necessari?

$$p = 1800000^{ch.},\ m = \frac{27}{36000},$$

d'onde $c = 18$. Sono dunque necessari 18 cavalli effettivi.

Essendo date due delle tre quantità c, p, m si può sempre trovare la terza, badando solo ad usare le unità di convenzione, le quali sono il chilogrammo, il metro, ed il minuto secondo.

Una caduta di acqua dà 2700 ettolitri in un'ora, a quanti cavalli corrisponde? Il peso che da una certa altezza discende in un dato tempo è una potenza capace d'innalzare un peso eguale alla stessa altezza e nello stesso tempo, e però

$$p = \frac{270000}{3600} = 75,\ m = 10,\ \text{e}\ c = 10.$$

La caduta è teoricamente di 10 cavalli.

Supponiamo ora che la macchina a vapore non innalzi un peso, ma che sia applicata a qualunque altro uffizio, come per esempio a far girare degli assi in una filanda. Mentre essa fa questo lavoro, il volante fa anche un giro per ogni minuto secondo di tempo. Se si liberi dall' ingranaggio che connette il volante alla filanda, la macchina prenderebbe la velocità crescente; muovendosi così a vuoto essa sarebbe tosto infranta in mille pezzi; ma nel liberarla dalla filanda, se si supponga che la fune del pozzo, recato in esempio, insieme si avvolga sopra un tamburo, non è egli evidente potersi legare a questa fune un peso tale che la macchina nel sollevarlo, vada con quella stessa velocità con cui andava quando muovea la filanda? La macchina dunque fa lo stesso lavoro in ambo i casi. Ma il lavoro relativo al peso elevato è pm: dunque pm rappresenta anche il lavoro relativo al filatoio, ed il numero c di cavalli necessarj sarà eziandio dato dall' equazione

$$c = \frac{pm}{75}.$$

Ma egli è impossibile di avere presso ad una macchina un pozzo, una fune senza peso, ec. per valutare la sua forza. A questo si supplisce col *freno di Prony*, il quale è espresso dalla figura 10: a è una larga carrucola fermata sull'albero del volante; b è una robusta verga di legno che si adatta sulla carrucola; c è una maniera di catena guernita di lamine di legno, la quale circonda la carrucola, e mercè due cavicchie d e d' è congiunta alla verga; stringendo le madreviti e ed e' la catena e la verga sono premute sempre più sulla carrucola, ed intendesi potersi stringere tanto forte da potere per fino fermare la macchina. Ma questo non è lo scopo cui si mira: l'albero del volante si lascia rotare, scemandosene solo più o meno la velocità, col tirare più o meno la catena, mercè le madreviti, e sospendendo all'estremo della verga un peso p' in modo che essa resti orizzontale. Lo scopo di tale operazione è di soddisfare alle seguenti condizioni: di far fare al volante quello stesso numero di giri che faceva quando era connesso col filatoio da noi preso per esempio, a conservarlo in questo stato per un tempo bastante a riconoscere il peso p', dopo di essersi assi-

curato che la verga sia sensibilmente orizzontale. Con questi dati è possibile computare il lavoro che la macchina faceva, facendo rotare i fusi del filatoio. Un tale lavoro è perfettamente lo stesso di quello che fa sul freno, e questo può essere agevolmente conosciuto. Sia n il numero di giri che l'albero del volante fa in ogni minuto; r la distanza tra il centro dell'albero motore e la verticale del punto di attacco; p il peso totale che il moto sostiene in equilibrio quando la verga è orizzontale. Questo peso risulta dal peso p' che sta nella coppa, dal peso della coppa e da quello della verga e della catena, calcolati per essere trasportati al punto di attacco. Ciò posto è chiaro che il freno per essere sostenuto nella sua giacitura di equilibrio richiede da parte dell'albero lo stesso sforzo che richiederebbe un tamburo di raggio r, messo sull'albero stesso e sul quale si avvolgesse una corda senza peso. caricata del peso p Togliendo il freno per sostituirvi questo tamburo le cose non sarebbero cambiate, e la velocità del volante resterebbe la stessa. Ma il tamburo rappresenterebbe una quantità di lavoro espressa da

$$p.\,2\pi\,r.\,\frac{n}{60}\,.$$

In effetto p è il peso elevato dalla fune, e lo spazio percorso in 1" è dinotato da $2\pi r.\frac{n}{60}$, perocchè la circonferenza è $2\pi r$, ed in 1" fa un numero di giri espresso da $\frac{n}{60}$. Il numero c di cavalli è dunque

$$c=\frac{p}{75}\,.\,2\pi r\,.\,\frac{n}{60}\,,$$

espressione nella quale entrano solo i tre dati dell'esperienza n, r, p, e la ragione π della circonferenza al diametro.

In questo modo mercè il freno di Prony si estima la quantità di lavoro necessario per compiere una qualunque operazione meccanica, e quindi il numero dei cavalli di forza o la potenza della macchina che da tale operazione è richiesta.

In questa maniera appunto mercè il freno di Prony estimasi il lavoro necessario per eseguire un'operazione meccanica qualunque, e quindi il numero di cavalli di forza, ovvero la potenza della macchina che esegue quest'operazione.

132 *bis*. *Distribuzione*. — La distribuzione comprende come pezzi fissi i *condotti del vapore* ed il *condensatore* o, come pezzi mobili l'*eccentrico* t, l'*asta dell'eccentrico* t', il *tiratoio* q, la *tromba ad aria* ovvero *tromba ad acqua calda* u, la *tromba alimentatrice* x, la *tromba ad acqua fredda* y, ed il *governatore* o *moderatore a forza centrifuga* x.

Condotti del vapore. — Il vapore viene per la canna *m* (*fig.* 2, tav. 12), per passare nel cilindro, siccome tra poco vedremo, ed esce per la canna *n*, per andarsi a distruggere nel condensatore o, che qui è collocato sotto del cilindro. Il condotto *n* non deve dunque mai essere in comunicazione con quello per lo quale il vapore arriva, nè con la *cassa del tiratoio*, ovvero con lo spazio *m'*, *m''* in cui il vapore liberamente si spande, la *chiave m''* essendo solo ordinata a moderarne più o meno l'entrata. Il cilindro intanto ha una sola apertura *p* per la quale deve entrare il vapore, affinchè possa operare, e per lo quale deve uscirne per andare al condensatore; similmente una sola apertura *p'* trovasi dalla parte di sotto, tanto per l'entrata quanto per l'uscita. Pare difficile fare in modo che a tempo opportuno il vapore venga per lo foro *p*, e per questo stesso se n'esca, per andare al condensatore, senza che intervenga confusione o mescuglio del vapore che esce con quello che viene. Cotesta difficoltà è apparente; il tiratoio di Watt la scioglie nel modo il più semplice ed ingegnoso (1).

Chiamasi *tiratoio* il lungo pezzo *q* ch'è vuoto, aperto a' due capi e traversato secondo la sua lunghezza dell'asta *q'*, ordinata a dargli un moto alternativo, strisciando dall'alto in basso e dal basso in alto. Il tiratoio è un segmento cilindrico, siccome è dinotato dalla figura 4 che ne rappresenta una sezione perpendicolare; se non che ai suoi estremi, e poco più sopra degli orifizi *p* e *p'*, il segmento è un poco più grande, il che forma due piani detti *bande del tiratoio* (*bandes du tiroir*) (2): queste sono rappresentate in *r* ed *r'* (*fig.* 1 e 4) e son fatte in modo che appoggiate sugli orifizi, che sono anche rettangolari, più lunghi che larghi,

(1) Ciocchè l'autore chiama semplicemente *tiroir* suolsi anche denominare *valvola a tiratoio*. Prima che Watt inventasse questa valvola ingegnosa, si fa cea uso di alcuni altri mezzi, e specialmente di una chiavetta a due fori che trovasi descritta in parecchie opere, in cui si parla delle macchine a vapore I giovani potrebbero consultare il trattato di *Villa*, in cui l'autore, in modo chiaro ed elementarissimo, fa conoscere il progresso di questa bella branca della meccanica applicata.

(2) Potremo denominarli *basi* o *piani* dell'*animella* o *valvola* a tiratoio.

li chiudono perfettamente, essendo quelle alquanto più ampie di questi. Ancora, la lamina che porta l' entrata degli orifizi dal lato del tiratoio è splanata con diligenza ; le basi del tiratoio sono anch' esse perfettamente piane, in modo che le basi strisciano sulle lamine molto facilmente. Il *dorso* finalmente del tiratoio, o vogliam dire la sua parte convessa è eziandio levigata verso i due estremi,dove due maniere di rivestimenti di stoppa *s*, *s'* la tengono premuta contro le lamine di strisciamento. Ciò posto consideriamo il tiratoio nella giacitura in cui è rappresentato. La base *r* si trova al di sopra dell' orifizio *p*, il quale comunica così con la cassa *m'm'* del tiratoio, ed il vapore corre al di sopra dello stantuffo ; nello stesso tempo la base inferiore *r'* è al di sopra dell' apertura *p'*, ed il vapore che trovasi sotto lo stantuffo si precipita nel condensatore per lo condotto *n*. Il vapore della cavità *m'* non può andare nel condensatore, perchè rimane trattenuto sul dorso del tiratoio dalla stoppa *s'*, e sul piano dalla base *r*. Le cose rimangono in questo stato durante il tempo in cui lo stantuffo discende. Ma finita la discesa è mestieri che l' ordine sia mutato, cioè che l'orifizio *p'* riceva il vapore, e l'altro *p* comunichi col condensatore. Questo cangiamento si esegue facendo scorrere verso giù il tiratoio, in modo che la base *r* sia *al di sotto* dell' orifizio *p*, e la base *r'* anche al di sotto dell' orifizio *p'*. In questa nuova giacitura si vede il vapore della cavità *m'*, passando liberamente sotto il piano del tiratoio, e non essendo più impedito dalla base *r'*,se non che al di sotto dell' orifizio *p'*, si trova spinto sotto lo stantuffo per la sua forza elastica, e quindi eserciterà tutta la sua pressione. Al di sopra per l' opposto il vapore della camera o della cavità *m'* non può più entrare per l'orifizio *p*; ma questo non basta, è necessario che il vapore, che sta al di sopra dello stantuffo, possa andare nel condensatore, e si vede che ciò avviene realmente; imperciocchè il tiratoio, siccome abbiam detto, è vuoto e fa da condotto di scarica per lo vapore di sopra dello stantuffo; tostochè l' orlo della base *r* discendendo ha un poco scoperto l' orifizio *p*, il vapore del cilindro si trova, per l' interno del tiratoio, in comunicazione col condotto *n*, e quindi col condensatore o. Tutte le difficoltà della distribuzione sono dunque risolute, se si giunge a dare al tiratoio il moto di va e vieni di cui di sopra è detto, in modo che intervenga sempre al tempo opportuno.

Cotesto moto è dato al tiratoio mercè l' eccentrico *t* e la sua asta *t'*. L' eccentrico è una maniera di girella fissata sull' albero del volante, col suo centro di fuori, siccome viene indicato da parte nella figura 5. Onde l' eccentrico, quantunque circolare, ha dei raggi dissuguali per rispetto all' asse di rotazione, compresi tra il massimo detto *gran raggio* ed il minimo detto *piccolo raggio*. L' asta *t'* si adatta sull'eccentrico, mercè un anello che lo circonda, e nel quale l' eccentrico rota : per tal modo,quando la rotazione conduce il gran raggio indietro, l'asta sarà tirata appresso, ed essa per contro sarà spinta innanzi nel caso opposto; il suo estremo perciò prenderà un moto di va e vieni di un' ampiezza eguale all' eccesso del grande sul piccolo raggio. I periodi di tali moti sono regolari, come quelli della manovella del bilanciere e dello stantuffo da cui dipendono ; ma secondo la giacitura dell' eccentrico sono concordanti, o discordanti. Se p. e. il gran raggio dell' eccentrico sia perpendicolare alla manovella, l' asta *t'* e lo stantuffo saranno di accordo, entrambi cominceranno e fioiranno insieme le loro corse; almeno quando l'asta è orizzontale, come nella figura; se per contro il gran raggio è parallelo alla manovella, quello si trova verticale nello stesso tempo che questa, e però l'asta *t'* è nel mezzo di sua corsa, quando lo stantuffo è sul fioir della sua. Per altri angoli le ragioni sono diverse; ma in ogni caso per un giro del volante, cioè per una doppia corsa dello stantuffo,vi ha sempre una doppia corsa per l'asta *t'*. Ciò posto immaginiamo una leva curva *abc* (*fig*. 5), girante intorno al punto *c*, il cui braccio *a* sia regolato dall'asta *t'*: egli è chiaro che esso ne seguirà tutti i moti; dicasi lo stesso del braccio *b*; o se il punto *b* sia messo in relazione con l' asta *q'* del tiratoio (*fig*. 2) si vede che questo riceverà anch' esso un moto di va e vieni, i cui periodi saranno perfettamente regolati sopra quelli dello stantuffo, sebbene possano essere più o meno concordanti, secondo l' angolo del gran raggio dell' eccentrico con la manovella. Questa disposizione si vede sulle figure 1 e 2; in quest' ultima si vede meglio l'asse *c''* della leva curva, sulla quale opera l' asta *t'* e le due *aste pendenti t''*, le quali vengono a prendere il moto sulle braccia orizzontali di questa leva,per comunicarlo all' asta *q'* del tiratoio, mercè la traversa *q''*, la quale è congiunta al suo estremo (1).

Per fermare la macchina, basta alzare l'estremo dell' asta *t'*; l' intaccatura che la termina si separa e non opera più sulla leva; per

(1) Alcune lettere mancano sulla figura.

far ricominciare il moto, quando il rilindro è freddo e pieno di aria si alza parimente l'asta, e per un certo tempo il tiratoio si regola a mano, mercè un manubrio che porta l'asse della leva c''.

L'eccentrico circolare è tale di sua natura chedà al tiratoio un moto che non ha niente d'irregolare; esso va e viene come lo stantuffo. Or siccome l'orifizio p, per esempio, deve cominciare ad aprirsi pel vapore, quando lo stantuffo comincia a discendere, e ad aprirsi pel condensatore, quando comincia a salire, è mestieri che agli estremi della corsa dello stantuffo le basi r ed r' del tiratoio *coprano* gli orifizi, imperocchè ciocchè abbiam detto è vero tanto per p' quanto per p. D'altra parte siccome ciascuna base deve passare al di sopra ed al di sotto del corrispondente orifizio r per *l'entrata* e per *l'uscita*, e di r' per *l'uscita* e per *l'entrata*, ne segue che il tiratoio si deve trovare verso il mezzo della sua corsa, quando è alla fine della sua; per cui il maggior raggio dell'eccentrico deve essere presso a poco perpendicolare alla direzione della manovella. Ho detto *presso a poco*, perocchè la teorica e l'esperienza dimostrano giovare *un di più* dato al tiratoio, vale a dire inclinando per circa 15 o 20° il maggior raggio dell'eccentrico sulla manovella, in modo che il tiratoio faccia scappare il vapore, poco prima lo stantuffo sia al termine della sua corsa; ma in questo caso è mestieri che le basi siano alquanto più larghe degli orifizi, affinchè vi sia un certo orlo che deve esser calcolato con ogni diligenza.

Scappamento.—Si dice che la distribuzione si fa a *pieno vapore*, se la introduzione dura quanto la corsa dello stantuffo, e dicesi poiche si fa a *scappamento*, quando la introduzione dura solo mentre lo stantuffo fa una parte della sua corsa. Se il vapore finisce di entrare dopo $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ della corsa, si dice che lo scappamento interviene a partire da $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$; ma nello stesso tempo lo scappamento è di 5, 4, 3, 2, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$, quando si estima in volume, perocchè il volume del vapore diventa per lo scappamento cinque volte più grande, quattro volte più grande, ec.; nell'atto che è di $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ quando si stima in pressione, perocchè, alla fine della corsa, il volume essendo diventato cinque volte più grande, la pressione sarà diventata $\frac{1}{5}$, seguendo la legge di Mariotte, ec. Onde in una macchina che segna 5 atmosfere, la tensione alla fine della corsa sarà di 1 atmosfera, se lo scappamento interviene ad $\frac{1}{5}$ della corsa, sarà della quarta parte di 5 atmosfere, se lo scappamento è ad $\frac{1}{4}$ della corsa, ec.

Non possiamo qui far conoscere perfettamente l'utilità dello scappamento, ma procureremo di dichiararla con un esempio. Supponiamo due eguali macchine che si muovano con la pressione di 5 atmosfere; fingiamo che nella prima la distribuzione si faccia a pieno vapore, e nella seconda si abbia lo scappamento ad $\frac{1}{5}$ della corsa; si consumerà in questa seconda macchina la quinta parte di vapore in peso, e si avrà una pressione media maggiore del quinto della prima, imperciocchè in questa la pressione è di 5 atmosfere durante l'intera corsa, nell'atto che nella seconda, quantunque la pressione sia di 1 atmosfera alla fine della corsa, pure è di 5 atmosfere durante il primo quinto della medesima, e poi ha dei valori compresi tra 5 atm. e $\frac{5}{2}$ di atm., $\frac{5}{2}$ e $\frac{5}{3}$ di atm., tra $\frac{5}{3}$ e $\frac{5}{4}$ di atm., tra $\frac{5}{4}$ e $\frac{5}{5}$ di atm. durante il 2°, il 3°, il 4°, e l'ultimo quinto della corsa, il che dà una pressione di 2 atm. $\frac{1}{2}$, prendendo solo la media tra i due punti estremi, ed una pressione più grande, prendendo la media dei punti di mezzo, siccome dovrebbe farsi. Per la qual cosa, mercè di cotesto scappamento hassi un effetto di $\frac{1}{2}$ di più, dando la quinta parte di quel vapore che dovrebbe dare un effetto eguale ad $\frac{1}{5}$, senza questo trovato. L'utile dunque è come $\frac{1}{2}$ ad $\frac{1}{5}$, ossia come 5 : 2. L'economia dunque che si ha per lo scappamento può essere grandissima.

Eccentrici curvi.—Con gli eccentrici circolari, coll'avanzo del tiratoio, e con fare le basi alquanto più larghe degli orifizi, non si può avere se non uno scappamento molto limitato, e però si suole ricorrere ad altri congegni più efficaci, i quali per lo più sono degli eccentrici, le cui curvature si regolano in modo che il tiratoio scopra e ricopra

gli orifizi più rapidamente, affin di arrestare il vapore in un subito, dopo fatta una certa, porzione della corsa. Cotesti congegni danno uno *scappamento fisso*, quando le curvature sono fermate una volta per sempre, e danno uno *scappamento variabile*, quando le curvature possono variarsi, come interviene componendo l'eccentrico di molti pezzi le cui relative giaciture si cangiano dopo di aver fermata la macchina: si può finalmente avere uno *scappamento* variabile a piacimento, quando, per peculiari disposizioni, si possa cambiare lo scappamento, per fino mentre la macchina è in azione. Questo è l'ultimo grado di perfezione, e ci ha de' congegni mercè i quali questo scopo si consegue in un modo soddisfacente. Ci duole di non poterne qui recare la descrizione.

Condensatore e tromba ad aria.—Il pronto condensamento del vapore è una delle più importanti condizioni economiche nelle macchine a bassa pressione; egli è perciò mestieri iniettare nel condensatore una sufficiente quantità di acqua fredda. Cotesta introduzione di acqua fredda potrebbe farsi a periodo nel momento in cui il vapore comincia ad uscire dal cilindro, perocchè in questo momento appunto è mestieri di rapidamente condensare la maggior quantità di vapore: ciò nondimeno si suole fare una iniezione continua, la quale si regola aprendo più o meno la chiavetta *o'*. La pressione atmosferica che opera sull'acqua della tinozza la spinge con violenza nel condensatore dove non ci ha più di pochi centimetri di pressione: sia *p* il peso del vapore che in ogni ora si consuma, *t* la temperatura dell'acqua fredda, *t'* quella che si vuol mantenere nel condensatore, *c* il peso di acqua necessario alla condensazione, estimata anche per ogni ora; l'acqua fredda guadagnerà in gradi $t'-t$, ed in quantità di calorico $c(t'-t)$. Il vapore perderà, tanto in calorico latente quanto in gradi $p\,(650-t')$. (*Ved. t. 2° cap. della Calorimetria.*) Si avrà dunque

$$c\,(t'-t)=p\,(650-t')\ ,\ \text{donde}\ c=p\,\frac{650-t'}{t'-t}.$$

Supponendo esser 15° la temperatura dell'acqua fredda, si trova che il suo peso deve essere eguale a quello del vapore *p* moltiplicato per 30, 20, 15, 11, 9, secondo che la condensazione si fa a 35°, 45°, 55°, 65°, 75°. Il consumo del vapore essendo di circa 30 chilogrammi per ogni cavallo, si avrà $p=30c$ per una macchina di *c* cavalli; se si esprime con *n* il numero de' giri in 1', o il numero de' doppi colpi di stantuffo, si avrà $60n$ pe lo numero de' giri in un' ora; laonde per ogni giro la quantità di acqua fredda sarà

$$x=\frac{c}{60n}=\frac{30c}{60n}\cdot\frac{650-t'}{t'-t}=\frac{c}{2n}\cdot\frac{650-t'}{t'-t}.$$

Egli è agevole di vedere che ad ogni giro la somma *z* de' pesi dell' acqua fredda e del vapore condensato che giungono al condensatore, è

$$z=\frac{c}{2n}\cdot\frac{650-t}{t'-t}.$$

Laonde, per una macchina di 40 cavalli che faccia 20 giri per ogni minuto, i valori di *z* sono presso a poco di 33, 21, 16, 13, 10 chilogrammi, secondo che la condensazione si fa a 35°, 45°, 55°, 65°, 75°.

Potrebbesi per avventura credere che l'acqua fredda non sia mai troppo, entrando nel condensatore, perocchè quando è più fredda più pronto è il condensamento ed anche più compiuto; ma il calcolo antecedente fa conoscere dove conviene fermarsi. E per fermo, l'acqua dal condensatore deve essere estratta e però ci vuole un consumo di forza; per estrarla dal vuoto senza innalzarla è lo stesso che prenderla sotto una pressione atmosferica per portarla all' altezza di 10m,33; or per un condensamento a 35°, per esempio, si rimane al vapore nel cilindro una tensione di 4mm, e l'acqua da estrare dal condensatore è di 33 chilogrammi. Se si volesse condensare a 20°, si lascerebbe è vero una tensione di 17 millimetri, ma converrebbe ad ogni giro del volante tirare 125 chilogrammi d'acqua dal condensatore, e quindi si perderebbe più da una parte che non si guadagnerebbe dall'altra; un buon condensamento si deve fare tra i 30° ed i 40°.

Il condensatore contiene sempre dell' aria recata dall' acqua fredda da cui sprigionasi nel vuoto, alla quale si aggiunge quella che si svolge insieme col vapore dell'acqua della caldaia; quest' aria anche in piccola quantità ritarda molto il condensamento, e nuoce specialmente al cammino della macchina; per cui convien badare che non ne passi pe' fori delle aste dello stantuffo e del tiratoio. Si perderebbe più per la introduzione dell' aria che per la perdita del vapore.

La necessità di toglier l'aria ha fatto dare il nome di *tromba ad aria* alla tromba che estrae l'acqua del condensatore. Essa è espressa in *u* (*fig.* 2); la sua asta *u''* si congiunge alla metà della lunghezza del bilanciere, e però

cotesta tromba avrà una corsa quanto la metà di quella dello stantuffo del cilindro, e prende l' acqua ad ogni doppio colpo, perocchè è una tromba a cerniera che si carica discendendo,e toglie l' acqua nel salire. L' animella a cerniera u' impedisce che l' acqua non entri nel condensatore nella discesa. Cotesto ordinamento ha un difetto, perocchè al di sopra della valvola formasi una falda di aria che toglie alla tromba una parte di sua efficacia.

L'acqua calda giunge nella tinozza v', donde si scarica per un risciacquatoio,ma nello stesso tempo dal fondo della tinozza parte un cannello v, che la conduce alla tromba alimentatrice.

Quando pe' fori accomodati con stoppa penetra aria nel condensatore, o quando la tromba ad aria non fa bene il suo uffizio, si conosce dal vedere più o meno scemata la potenza della macchina; ma siccome cotesto indebolimento potrebbe credersi generato da qualche altra cagione, così è mestieri poter conoscere in ogni momento la pressione che rimane nel condensatore ; a questo si perviene facendolo comunicare con la parte superiore di un cannello barometrico il cui capo inferiore peschi in un pozzetto di mercurio. Siffatta comunicazione talvolta si apre direttamente (*fig.* 9, tav. 11), altre volte mercè l' apparecchio espresso dalla figura 8, tav. 11. Il cannello interno aperto dalla parte di sopra commica dalla parte di basso col condensatore, nell'atto che il cannello esterno chiuso dalla parte di sopra è immerso coll' estremo inferiore in un pozzetto pieno di mercurio, il quale riceve la pressione dell'aria. Se nel condensatore vi fosse il moto, il mercurio ascenderebbe tra i due cannelli alla vera altezza del barometro. Ciò che manca a quest' altezza è la pressione del mescuglio gassoso che rimane nel condensatore.

Tromba alimentatrice.—È questa una tromba aspirante e premente a stantuffo immerso. In v'' vedesi l' animella di aspirazione, in x lo stantuffo, in x' l' asta dello stantuffo ed in x'' l' animella di compressione. Il cannello che trovasi nell'altra parte comunica con la caldaia.

Tromba ad acqua fredda. — Questa generalmente è una tromba aspirante delle comuni, ovvero una tromba aspirante ed elevatoria, che prende l'acqua da un pozzo o da una sorgente. Il corpo di questa tromba è in y dietro la tromba alimentatrice, perocchè le aste degli stantuffi di queste due trombe si congiungono alla metà del bilanciere dalla parte del volante. In y' si vede la canna orizzontale per la quale l' acqua va nella tinozza.

Regolatore o moderatore a forza centrifuga. — Questo è una maniera di rombo articolato i cui due lati superiori z portano delle palle pesanti, nell' atto che i due lati inferiori z' congiungonsi con un anello che può scorrere sull' asse verticale z'' ; quando l' anello sale o scende esso opera sopra un sistema di leve le quali *chiudono* o *aprono* la chiave m'', la quale trovasi nel principio della canna per la quale viene il vapore. In tal modo la macchina si regola da se stessa ; ed in fatti l' albero del volante fa girare l' asse verticale z'' e quindi le sfere che trovansi sopra di esso ; se il medesimo gira troppo velocemente , le sfere per la maggiore velocità che acquistano si allontaneranno aprendo i lati z' del rombo, e faranno ascendere l' anello; allora la chiave m'' girerà sul proprio asse per diminuire l'entrata del vapore; se per contro il volante va troppo lento la velocità dell' asse z' si rallentera , la forza centrifuga delle sfere si renderà minore, e quindi pel proprio peso cadendo, i lati z' del rombo si chiuderanno, facendo discendere l' anello, e quindi la chiave m'' aprendosi farà passare il vapore in maggior copia.

Il moto poi dell' albero del volante si comunica all' asse z'' in vari modi: qui l'asse z'' porta una ruota dentata che si connette con un' altra, il cui asse è parallelo all' albero del volante : un cordone w trasmette il moto dal secondo al primo, mercè due girelle corrispondenti.

Macchine ad alta pressione. — Le macchine ad alta pressione non differiscono da quelle ora descritte; solamente a forze eguali hanno un cilindro più piccolo; ma con cilindri eguali intendesi che debbano esser più resistenti, perocchè debbono soffrire sforzo più grande e maggiori pressioni. Quando le pressioni oltrepassano le 5 atmosfere si fa di meno talvolta del condensatore; la macchina diventa più semplice ma il suo consumo giornaliero è maggiore in combustibile, a meno che non si applichi a qualche effetto utile il calorico del vapore che si sprigiona.

Non v' ha dunque essenzial differenza tra una macchina a bassa ed una ad alta pressione; ogni sistema può applicarsi a' due casi , tranne forse le macchine di Woolf a due cilindri in cui il vapore passa nel grande cilindro a scappamento, dopo di aver prodotto il suo effetto nel piccolo cilindro. Cotesta macchina perderebbe gran parte de' suoi pregi se il vapore non avesse nella caldaia una tensione di 4 o 5 atmosfere per lo meno.

I differenti sistemi distinguonsi meno per la pressione che per la disposizione dei pezzi che

costituiscono il meccanismo, e per gli apparecchi di distribuzione.

Indicatore delle pressioni. — L'indicatore delle pressioni, ideato un tempo da Watt, ha ricevuto tali perfezionamenti, che anche ora si reputa uno strumento prezioso ed indispensabile per pruovare la buona costituzione d'una macchina e l'impiego economico del vapore. E per fermo questo strumento dà la rappresentazione grafica delle pressioni, corrispondenti a ciascun punto della corsa ascendente e discendente dello stantuffo, mercè *diagrammi* analoghi a quelli espressi dalle fig. 9, 10 e 11. La retta orizzontale *ab* rappresenta la lunghezza della corsa dello stantuffo, divisa in decimali, e la retta verticale *ac* dinota le pressioni in atmosfere, o in chilogrammi per centimetro quadrato, le quali si estimano oltre la pressione atmosferica, in modo che 1 dinota un'atmosfera al di sopra della pressione atmosferica, e — 1 una pressione al di sotto, cioè il vuoto perfetto. La linea superiore del diagramma rapresenta le pressioni che si esercitano al di sopra dello stantuffo mentre discende; così che la figura 9 corrisponde ad una distribuzione a pieno vapore, in cui lo stantuffo ha continuamente sopportato una pressione reale di due atmosfere, mentre poi le figure 10 ed 11 corrispondono a distribuzioni a *scappamento*, e questo scappamento è comunicato tra i due e i tre decimi della corsa discendente, ed, a partire da questo istante, la pressione primitiva di 2 atmosfere è diminuita quasi regolarmente, come lo indica la linea obbliqua e quasi retta *ef*. La linea inferiore *fg* rappresenta le pressioni che han luogo durante la corsa ascendente dello stantuffo; la fig. 9 corrisponde al caso in cui la condensazione si farebbe risolutamente e in modo completo; allora lo stantuffo, risalendo, farebbe tutta la corsa col vuoto al di sopra di lui; poi giunto alla sommità, ritornerebbe il vapore istantaneamente con 2 atmosfere per riprodurre un secondo diagramma *gaf* simile al primo; le figure 10 ed 11 corrispondono ad una progressiva condensazione nel modo in cui ha luogo nel fatto. A cagione dell'obbliquità della linea *fg* si scorge che la pressione è progressivamente diminuita, mentre lo stantuffo si è elevato da $\frac{1}{10}$ a $\frac{2}{10}$, ec., e che giunto questo presso alla sommità di sua corsa, il vuoto si trovava quasi completo nella fig. 11, ed alquanto minore nella fig. 10.

Cotesti diagrammi, col mostrare quale sia stato l'ordine delle pressioni durante una intera corsa, fan conoscere se la distribuzione e la condensazione avvenga come conviene; ma egli è agevole vedere inoltre in che modo se ne possa dedurre la pressione *media efficace*, quella cioè che produce il moto; e siccome d'altronde si osserva eziandio la velocità dello stantuffo, si ha la forza ed il camino percorso, il che permette poterne conchiudere quale sia la potenza della macchina.

Le figure 6, 7 e 8 rappresentano lo strumento che descrive i diagrammi di cui innanzi è detto. Si compone esso d'un tamburo *a*, che ruota sopra se stesso, facendo circa $\frac{3}{4}$ di rivoluzione in un senso, mentre lo stantuffo della macchina discende, ed altrettanto facendone in senso contrario, mentre lo stantuffo ascende, e d'una matita *b* la quale, insistendo sempre, mercè una molle, sulla carta che covre il tamburo *a*, vi calca il diagramma. Rimane ora a vedere in qual maniera la matita ascenda o discenda all'aumentarsi o al diminuirsi che fa la pressione nel cilindro della macchina, e come il tamburo esso stesso riceva il suo moto di rotazione, per avere gli stessi periodi di velocità come lo stantuffo.

Il pezzo che porta la matita è fissato sull'asta *c* d'un piccolo stantuffo *d*, fig. 7, molto serrato e mobilissimo, il quale è messo in comunicazione col cilindro mercè la chiave *e*. Quando tutto lo strumento è stato disposto sulla corona del cilindro della macchina mediante la vite *f*, basta aprire la chiave *e* perchè, stabilito l'equilibrio di temperatura, il piccolo stantuffo *d* riceva quella pressione che ha precisamente luogo nel cilindro; la molle *g* che esso col sollevarsi preme, permette regolare e graduare i suoi moti; l'elasticità di cotesta molle tale si è, che essa trovasi in riposo, quando la punta della matita corrisponde allo zero della scala *h*, fig. 6, e quando sul piccolo stantuffo *d* si esercitano delle pressioni di 1, 2, 3 atmosfere, la punta della matita corrisponde alle divisioni 1, 2, 3, ec., la pressione atmosferica operando sempre sulla faccia superiore di esso stantuffo.

Il tamburo *a*, il quale deve ruotare con una velocità sempre proporzionale a quella dello stantuffo della macchina, è messo in moto nella maniera seguente: sopra una grande carrucola *i*, fig. 8 e 6 passa una corda *i'*, la quale fa, in una gola elicoidica, tanti giri per quanti ne sono necessarii perchè la sua lunghezza avvolta sia maggiore della corsa dello stantuffo; e l'estremo di cotesta corda si lega sulla testa dell'asta dello stantuffo; la corda s'avvolge mentre lo stantuffo ascende, e si svolge mentre lo stantuffo discende. Sul-

l' asse della pulegia *i*, fig. 8, v' è un manico che gira con l' asse, e sul quale s' avvolge o si svolge una seconda corda, che ha il suo estremo legato alla carrucola *l* fissata alla base del tamburo *a*. Un piccolo tamburo *m* contenuto nel primo, e contenente una molla a spirale, serve a tendere le due corde *i* e *k*, e a far girare in senso contrario la carrucola *i* ed il tamburo *a*, mentre lo stantuffo discende.

Tale è l'indicatore delle pressioni, perfezionato da Combes. A Morin si debbono ancora altri perfezionamenti, i quali permettono d'ottenere sussecutivamente diversi diagrammi sopra un foglio continuo; ma in questo caso il moto del foglio è uniforme, nè è più regolato dalla velocità dello stantuffo.

§ 3. — *Macchine locomotive.* (Tav. 13)

153. Una locomotiva è composta di una caldaia e di due macchine a vapore operanti con pressione di 4 atmosfere e mezzo o 5 atmosfere, e senza condensazione. Tutte queste parti son collocate sopra un gran *telaio* orizzontale di legno o di ferro, il quale è collocato sopra gli assi di due o tre coppie di ruote. Nella maggior parte delle locomotive il telaio e *esterno*, poggiato cioè sugli estremi degli assi, in modo che le ruote restano dalla parte interna; talvolta è *interno* e le ruote rimangono al di fuori; in questo caso i *cuscinetti* sopra i quali è fermato afferrano gli assi presso alla faccia interna de' mozzi.

Le due macchine a vapore sono sempre simmetricamente collocate verso la parte anteriore della locomotiva; ogni stantuffo porta un'asta ed ogni asta opera sopra una manovella. Talvolta nelle locomotive a telajo interno, i raggi delle due corrispondenti ruote son quelli che fanno da manovelle. La forza del vapore imprimendo allo stantuffo un moto alternativo, imprime un moto di rotazione alle *ruote motrici* o alle ruote che fanno da manovelle; ma esse ruotando non restano nello stesso luogo, perocchè l'attrito delle medesime sulle rotaie costringe la circonferenza a svilupparsi come se le rotaie fossero aste dentate e le ruote avessero anche i denti. Da ciò nasce il moto di trasferimento di tutto il sistema. La velocità dipende dal numero di colpi dello stantuffo e dal diametro delle ruote motrici: per ogni doppio colpo la ruota fa un giro e la locomotiva va innanzi per uno spazio eguale alla circonferenza della ruota, purchè non vi sia un *poco di strisciamento* della ruota sulla rotaia, ossia di *tempo perduto*, il che interviene con le gelate o con le nebbie, o quando alla locomotiva si leghi un convoglio troppo pesante.

Sia d il diametro della ruota espresso in metri, $d\pi$ la sua circonferenza, n il numero de' doppi colpi di stantuffo per ogni minuto secondo, il cammino percorso dalla locomotiva sarà $nd\pi^{\text{met.}}$ in 1″; $3600nd\pi^{\text{met.}}$ in 1^{ora}, e $3,6nd\pi^{\text{chilom.}}$ in 1^{ora}.

Comunemente si ha $d=1^{\text{m}},40$; $d\pi=4^{\text{m}},40$; onde per un doppio colpo a minuto secondo la locomotiva fa $15^{\text{chil}},84$ ovvero circa 16 chilometri ad ora, e sarà duopo di tre doppi colpi a minuto secondo per avere 48 chilometri o 12 leghe ad ora. La corsa dello stantuffo è di 40 centimetri nelle piccole macchine e di 45 in quelle di cui diamo qui la descrizione; per un doppio colpo lo spazio che lo stantuffo percorre è di $0^{\text{m}},90$, e di $2^{\text{m}},7$ per 3 doppi colpi. Laonde nelle locomotive che vanno con molta velocità, la velocità dello stantuffo è di circa metri $2\frac{1}{2}$ in 3 per minuto secondo, il che forma il triplo della velocità dello stantuffo nelle macchine comuni.

Con due cilindri non solo si ha il vantaggio di *attaccare* nello stesso tempo le due ruote motrici per farle camminare insieme, ma si rimedia ancora in gran parte alla periodica diminuzione di velocità che avrebbesi ne' punti morti, perocchè le *manovelle s' incrociano* vale a dire esse non solo sono perpendicolari all' asse ma anche tra loro; in tal modo i *punti morti s'incrociano* anch' essi, così che, quando una ruota vi passa, l'altra è al massimo del suo effetto.

Nelle locomotive più usitate, quale è quella di Stephenson che sta espressa nella tav. 13, i due cilindri essendo nell' interno del telaio, i raggi delle ruote non possono fare l' ufficio di manovelle; allora si è nella necessità di fare l' asse delle ruote motrici a *doppio gomito* come vedesi nella figura 1; i due gomiti debbono essere perpendicolari tra loro per avere, come nel caso antecedente, l'*incrociamento de' punti morti*. Le due aste si congiungono a questi gomiti come a vere manovelle, e stringendo l' asse a rotare, e questo generando la rotazione delle ruote motrici che sono fissate al medesimo.

Le cose dette bastano a fare intendere che la macchina locomotiva è realmente simile ad una comune macchina a vapore ad alta pressione, per ciò che concerne i cilindri, gli stantuffi, le aste e le manovelle, e che la sola differenza è nella caldaia per la disposizione delle parti e specialmente pel regolatore che bisogna affidare al macchinista, affinchè costui possa con facilità in ogni tempo accelerare o

ritardare la velocità, e nelle occorrenze dare il vapore per verso contrario, per distruggere prontamente la velocità acquistata in grazia della enorme massa della locomotiva e del convoglio.

Procureremo di dare un'idea di questa bella congegnazione, prendendo per esempio la macchina a 6 ruote di Stephenson: essa è rappresentata nella tav 13. La figura 10 esprime l'alzata di questa macchina, e la figura 9 ne rappresenta una sezione longitudinale; la figura 1 la mostra veduta da sopra, quando siasene tolta la caldaia e lasciata intanto una sezione orizzontale della cassa di riscaldamento all'altezza del telaio; la figura 2 ne dinota una sezione trasversale per la *camera di entrata del vapore*, secondo la linea 1,1' della figura 9; la figura 3 ne indica la veduta dalla parte d'avanti supponendo solo tolta la parete estrema 2, 2' (*fig.* 9); la figura 4 è la tromba alimentatrice; la figura 5 è il freno del *tender;* la figura 6 esprime il meccanismo per lo cangiamento di velocità; la figura 7 le attaccature de' tubi della caldaia; la figura 8 fa vedere più in grande la sezione di uno de'cilindri col suo stantuffo, per mostrare la distribuzione. Tutte queste figure, salvo alcune modificazioni e la riduzione della scala, sono quelle che io dieci anni or sono pubblicai nel Portafoglio del Conservatorio, quando non si avea alcuna pubblicazione di tal fatta nè in Francia, nè in Inghilterra, nè in Germania: vi ho solo introdotti gli ultimi perfezionamenti.

Meccanismo.—Fig. 1 e 9, *a* è lo stantuffo, *b* l'asta dello stesso, *c* l'altra asta (*bielle*), *d* l'asse a gomiti. Quello che abbiamo detto basta per fare intendere il moto di questi pezzi.

134. *Caldaia a fornello.* — Il corpo della caldaia è un cilindro di lamine di ferro di 2m,5 di lunghezza e di 1m, 2 di diametro, il quale per lo estremo anteriore *cc* si unisce alla *cassa fumaria*, e con la parte posteriore *c'c'* si congiunge alla *cassa di riscaldamento.* La forma della cassa fumaria si comprende sulle figure 2, 9, e 10. Le prime due figure fanno vedere che da questa parte il cilindro della caldaia è chiuso da un fondo piano *f*, la cui metà inferiore è forata da 150 buchi eguali molto tra loro vicini. La forma del fornello è rappresentata dalle figure 1, 2, 9, e 10; essa ha la stessa apparenza esteriore della camera fumaria, se non che è più profonda nel verso della lunghezza della caldaia; ma dentro essa ne differisce per molti riguardi: 1° dalla parte del fornello, il cilindro formante il corpo della caldaia non ha fondo, ma è solamente ribadito con esso pe' suoi orli *e'*, 2° v' ha un invoglio interno *g* il quale dalla parte di sotto, in *h* (*fig.* 2 e 9) è inchiodato da tutte le parti verso l'invoglio esterno, il quale dopo se ne separa rientrando per circa un decimetro, restando però congiunti mercè alcune chiavarde o *armature h'* molto tra loro vicine; cotesto invoglio interno *s'* innalza fin quasi alla metà del diametro del cilindro, ed ivi esso ha tanti fori per quanti ne ha il fondo piano anteriore, i quali si corrispondono perfettamente. Delle canne di ottone *g'*, di conveniente lunghezza e di 4 decimetri di diametro esterno, sono accomodate in tutti questi fori, facendo così comunicare il fornello con la camera fumaria, mentre chiudono ermeticamente la caldaia. Il collocamento di queste canne ha presentato da prima delle grandi difficoltà, ma Stephenson le ha risolute facendo degli anelli di acciaio introdotti a forza entro le canne, in guisa da premerne gli estremi verso gli orgli de'fori in modo che non si abbia scolo veruno. (Vedi la *fig.* 7, dove questi particolari sono espressi più in grande). Queste canne così disposte servono di legame tra la metà inferiore del fondo *f* e la corrispondente parete verticale dell'esterno rivestimento *g*. La metà superiore del fondo *f*, la quale per la sua forma piana non potrebbe resistere alla pressione del vapore, è renduta più resistente mercè di grandi chiavarde di ferro *g''* (*fig.* 3 e 9), le quali attraversano tutta la lunghezza del cilindro e vanno a fermarsi verso la parete verticale del rivestimento anteriore del fornello. Ordinate in tal modo e fortificate queste diverse parti, hassi una caldaia molto resistente, la quale sostiene ordinariamente 5 atmosfere e potrebbe sostenere pressioni anche molto più forti.

L'acqua della caldaia non solo occupa la parte cilindrica in guisa da coprire e circondare tutte le canne, ma essa copre anche la parte superiore ed orizzontale (*fig.* 9) del rivestimento *g*, il quale dal canto suo è renduto più forte da squadre o armature poste al di sopra, e penetra per tutto fino ad *h* nell'intervallo di un decimetro che separa il rivestimento *g* del suo esterno rivestimento, ad eccezione dello spazio *i* che è riserbato per la porta del fornello. Il volume di acqua è di circa 20 ettolitri e la camera a vapore al di sopra del livello di circa 10 ettolitri.

Il fuoco si fa nell'interno del rivestimento *g*; le verghe della graticola sono in *i'* (*fig.* 1, 2, 9); si caricano di carbon fossile (*coke*) fino all'altezza della porta *i*, questo spazio contiene circa 7 ettolitri di carbone del peso di oltre a 150 chilogrammi; l'aria penetra per sotto la graticola, attraversa tutta la grossezza del car-

bone acceso, rendendone più energica la combustione, ed i prodotti infiammati entrano per le 150 canne, giungendo nella camera fumaria ed uscendosene per lo cammino i''. È qui che la ingegnosa idea del Pelletan ha ricevuta la più importante applicazione: uno spruzzo di vapore diretto entro il camino del cannello j (*fig.* 3, 9) genera un succiamento più efficace, senza del quale forse non sarebbesi giammai pervenuto a dare alle locomotive una velocità di 40 in 50 chilometri di cui esse van dotate sulla maggior parte delle strade di ferro. Nella impossibilità di fare molto elevato il camino, sarebbe stato mestieri attivare il fuoco con mantici o ventilatoi, e per le locomotive intendesi tutta la imperfezione di siffatti mezzi. Nell'interno del cammino ci ha una chiave j, bilicata nel centro, affinchè in tutte le sue giaciture il vapore che esce dal cannello possa andar fuori. Questa si suol denominare *farfalla* (*papillon*). Per mezzo di un congegno di leve il fuochista la regola a piacimento. Essa è ordinata a moderare il succiamento, e quando si toglie il fuoco si chiude, affinchè la corrente di aria fredda non generi nella caldaia guasti di restringimento, da quali verrebbero delle uscite di vapore.

La superficie di riscaldamento è più efficace nelle locomotive che nelle caldaie comuni tanto per la natura del combustibile, quanto per la energia del succiamento, e finalmente anche per la forma della caldaia. Si tien per fermo che un metro quadrato di superficie di riscaldamento diretto nel fornello dia da 120 a 180 chilogrammi di vapore in ogni ora, nell'atto che un metro di riscaldamento indiretto nelle canne ne dà solo $\frac{3}{10}$, cioè da 40 a 50 chilogrammi. Or nella caldaia che descriviamo, la superficie totale del fornello è di circa 5 metri, la superficie totale delle canne è di circa 40 metri, il che dà per la superficie *ridotta* di esse $40 \times \frac{3}{10} = 12$ metri, e quindi in uno 17 metri di superficie di riscaldamento. La forza corrispondente sarebbe di 17 cavalli se fosse una caldaia comune, ma qui la forza essendo tripla o quadrupla essa è di 60 in 70 cavalli secondo che il fuoco è più o meno energico.

Il peso totale della macchina è di 12 tonnellate ossia 12900 chilogrammi compresavi l'acqua, la caldaia, gli assi, le ruote, il telaio e tutto il meccanismo. Questo peso non è grande considerato per rispetto a tal forza; ponendo per media la forza di 60 cavalli si vede che per ogni cavallo di forza corrisponde un peso di 200 chilogrammi. Non è mestieri di calcolo per intendere che senza le caldaie a canne, dentro le quali passa la fiamma, non si sarebbero mai avuti tali risultamenti: solo queste caldaie potevano con sì poco peso e volume dare una bastante superficie di riscaldamento. Cotesta bella invenzione appartiene al Seguin vecchio che ne ebbe la prima idea; ma il merito dell'esecuzione e del successo è di Stephenson il quale nel 1829 fabbricò la prima locomotiva in questo modo, e fece conoscere a questo secolo tutt'i prodigi che aspettar si doveano dalle strade ferrate.

155. *Ricevimento e distribuzione del vapore.* — Il vapore si prende nella camera k (*fig.* 9), mercè la canna k' che lo conduce in una maniera di riserbatoio k''; ivi esso traversa il regolatore l, passa nella canna m che percorre in tutta la sua lunghezza, ed all'estremo, al di fuori del fondo f (*fig.* 3, 9) esso si divide a diritta ed a sinistra, giungendo ne' cilindri a vapore per le canne m' ed m'', le quali si veggono al proprio luogo nella camera fumaria espressa nella figura 3. Il regolatore l ha ricevuto varie forme: nella macchina di Stephenson è un disco che fa da compartimento tra la camera k'' e la canna m; ma vi sono tolti due settori di un quarto di cerchio, ed un secondo disco egualmente tagliato (*fig.* 2), gira sul primo, mercè l'asse l' ed il manubrio l'' (*fig.* 9). Quando le aperture de' due dischi si corrispondono, il vapore trova un passaggio più ampio, ma quando il pieno del disco mobile copre più o meno il vuoto del disco fisso, il passaggio sarà più o meno ristretto, o anche interamente chiuso. Il manubrio l'' gira sopra un quadrante indicando i gradi di apertura.

La disposizione si fa qui in una maniera più semplice che non si fa nelle macchine fisse da noi descritte: essa si vede nella sezione indicata dalla figura 9 e più in grande osservasi sulla figura 8. I due orifizi p e p' del cilindro comunicano mercè di condotti con le *luci* n ed n' che veggonsi in pianta nella figura 1. La luce di mezzo o è quella di uscita; essa comunica con la camera o', e questa con la canna di uscita j. Un solo tiratoio q, la cui asta è in q' striscia sulla *lamina delle luci*: esso è una specie di cassa rettangolare avente delle *prominenze* o *basi* r ed r' d'una larghezza appositamente calcolata. L'interno del tiratoio copre quasi due luci alla volta: se esso è nella giacitura della figura indicata, il vapore entrerà per n', perocchè il condotto di arrivo m' comunica con la camera nella quale il tiratoio si muove; nello stesso tempo per sotto al tiratoio il vapore esce dalla luce n per pas-

sare nella luce *o*, nella camera *o'* e nel cannello di uscita *j* : l' opposto interviene quando il tiratoio copre ad un tempo *o* ed *n*. Qui dunque conviene imprimere al tiratoio un moto di va e vieni di un' ampiezza eguale alle due larghezze delle basi, perocchè la base *r* per esempio, la quale si trova ora a sinistra di *n* per l' uscita, deve, per l' entrata passare a destra e coprire lo spazio che separa *n* da *o*. Ma per avere lo scappamento a diversi gradi, sonovi diverse condizioni di larghezza delle basi e di precedenza del tiratoio, nella disamina delle quali non ci è permesso di entrare.

Moto del tiratoio. — Il moto del tiratoio si esegue, siccome nelle macchine fisse per mezzo di eccentrici, con questa differenza che nelle locomotive gli assi curvati fanno le veci dell' albero del volante. Figuriamoci dunque un eccentrico circolare la cui asta (*bielle*) sia in *s*(*fig.*1); supponghiamo da un'altra parte un asse *u* che porti due braccia o leve perpendicolari alla sua lunghezza, l' uno che riceva l' azione dell' asta anzidetta l' altro che la trasmetta a quella del tiratoio, ed avremo così un' idea del meccanismo, il quale è a quello delle macchine fisse perfettamente analogo. Ma è mestieri soddisfare ad un' altra condizione importante, indispensabile: è forza che il macchinista possa subito che il voglia dare il vapore per verso contrario; la difficoltà è grande per cagione della velocità dello stantuffo. Gl' ingegneri ne hanno fatto oggetto di loro ricerche, e lo stesso Stephenson ne ha date parecchie soluzioni: ecco quella che in ultimo Stephenson stesso ha tenuta come migliore. Per ogni tiratoio egli stabilisce due eccentrici e due aste corrispondenti: la seconda è in *s'* (*fig.* 1); i due eccentrici son posti per versi contrari; il maggior raggio dell'uno corrisponde al minore dell' altro, donde ne risulta che i moti delle due aste *s* ed *s'* sono inversi, cioè quando l' una va l' altra viene, quando l' una spinge l' altra tira. Dopo ciò supponghiamo il tiratoio al mezzo della corsa e mosso dall' asta *s*, immaginiamo che tosto si stacchi quest' asta per connettervi l'altra *s'*; egli è chiaro che il tiratoio dovrà invertire il suo cammino, e però il vapore sarà introdotto per verso contrario; ciò non impedirà alla locomotiva di camminare ed alle ruote di girare per lo stesso verso in grazia della velocità acquistata; ma si avrà il cammino *contro vapore* ossia tutta la forza del vapore sarà spesa a distruggere il moto della locomotiva per imprimerle un moto contrario. Il *cangiamento di velocità* dunque si esegue per fermare più presto la locomotiva ne' casi urgenti, o anche quando si vuole, per alcune operazioni, far che vada con moto retrogrado. Si vede dunque che tutta la difficoltà riducesi a staccare l'asta *s'*, ed eseguire questo cangiamento per modo che il macchinista non abbia a fare altro fuorchè un moto solo; in oltre come l' asta del tiratoio può, quando il meccanico opera, trovarsi ad un periodo qualunque di sua corsa, conviene che l' estremo dell'asta, che deve essere messo in connessione, possa in qualunque tempo afferrar la prima e spingere il tiratoio se sia necessario, per condurlo nella giacitura della nuova distribuzione del vapore domandata. Per la qual cosa, Stephenson termina le sue due aste *s* ed *s'* con due robuste verghe di ferro inclinate tra loro a forma di V o di forca verticale *y*, siccome viene indicato dalla fig. 6; dalla parte di sopra l' apertura della forca è eguale alla corsa del tiratoio o meglio a quella del manico della leva sul quale l' asta opera per mettere in moto il tiratoio. Le due aste non essendo nello stesso piano, siccome vedesi nella *figura* 1, non è precisamente lo stesso manico che esse vengono ad afferrare; ma ciò è lo stesso perocchè cotesti due diversi manichi non operano in diversa guisa sull'asse *u* della leva. I particolari di questo ingegnoso meccanismo sono espressi dalla figura 6. *b'* è il manico o bottone che devesi afferrare per far caminare il tiratoio; ora è la forca *y* dell'asta *s* che sta in connessione, è mestieri che questa lasci e che la forca *y'* afferri il bottone il quale percorre il piccolo arco indicato in linea punteggiata. Però l' estremo dell' asta *s* è sospeso ad un asse *v* il quale è fisso, ma può girare: essa è sospesa mercè due verghe *vx* ed *xy*, articolate in *x*; tirando il manico *z'*, la verga *z* fa girare la leva *v*, e la forca *y* lascia il bottone e discende; l' estremo dell' asta *y'* è sospeso nello stesso modo all' asse *v'*; nel momento in cui *y* discende *y'* sale, perocchè il legame *a* fa girare *v'* per lo stesso verso di *v* e nello stesso tempo. Laonde col rapido moto del manico *z'* per un verso o per l' altro si fa andare il vapore dall' una o dall' altra parte dello stantuffo. Io ho ho solo parlato del primo cilindro, ma il congegno medesimo è ripetuto pel secondo.

Sulle figure 9 e 10 si veggono il *fistio w*, la *valvola di sicurezza w'*, e lo *sportello* (*trou d' homme*) *w''*; La valvola di sicurezza in vece di esser caricata di peso che sarebbe smosso dagli scuotimenti, è premuta da una molla la cui forza è misurata o regolata da prima.

Alimentazione. L' alimentazione della caldaia si fa mercè due trombe aspiranti e prementi, messe una da un lato e l'altra dall' al-

tro, i cui stantuffi ricevono il moto di va e vieni dalle aste degli stantuffi della macchina. Coteste trombe tirano l' acqua dal carro di seguito (*tender*), mercè una canna *b*, figura 9; una chiavetta *b''* vicina al fuochista è ordinata a regolare l'alimentazione. Il livello, dell' acqua nella caldaia è indicato da un tubo di livello posto avanti al fuochista, e da due chiavette, l' una al di sopra del livello che aprendosi deve dare uscita al vapore, e l'altra al di sotto che aperta deve dare acqua.

Il *tender* o carro di seguito è un carro a quattro ruote legato alla macchina mercè la chiavarda *c'* (*fig.* 9); in esso l' acqua è raccolta in una maniera di cassa di molta capacità che comunica con la canna *b*: cotesta cassa dalla parte di dietro occupa tutta la larghezza del carro, ma dalla parte di avanti ha solamente *due ali*, nel cui mezzo sta uno spazio pei carboni; delle lamine di ferro coprono l'intervallo che lo separa dalla locomotiva, in guisa che il macchinista ed il fuochista hanno in tal guisa molto spazio per le loro operazioni.

156. *Unione della caldaia col telaio e con gli assi.* — Ci resta solo a toccare del modo come l' intero sistema della caldaia e dei suoi accessori è portato sul telaio, e come questo è tenuto sugli assi. Tutto il *telaio* si vede in *d'* sopra la figura 1, coi suoi due cuscini di cuoio pieni di crini posti dalla parte d' avanti per ismorzare gli urti; esso è composto da quattro pezzi di legno uniti ad incastro, e legati da squadre di ferro. La caldaia è fermata sul telaio mercè sei grossi pezzi di lamina di ferro *e''*(*fig.*2,3 e10) sostenuti dai cerchi *e'''*. Dai due lati della lunghezza del telaio ha delle armature o *lamine di custodia*, i cui prolungamenti corrispondono ai centri dalle ruote e servono a mantenere i cuscinetti di bronzo che abbracciano gli estremi degli assi. Tutti questi prolungamenti sono tra loro connessi per mezzo di verghe di ferro, per dar loro così maggior resistenza in caso di urto. Il carico però non si trasmette per questo modo, ma si bene mercè le sei coppie di molle *f*, gli estremi delle quali sono stabilmente fermati al telaio; dal mezzo di ciascuna sorge una chiavarda verticale la cui testa è congiunta con la molla o *balestra*, e l' estremo inferiore va a poggiare in una cavità ordinata a riceverla sul cuscinetto superiore che comprende l' estremo dell' asse: così per mezzo di queste sei chiavarde tutto il peso della locomotiva si trasmette agli assi, ed il legame tra il cuscinetto di sotto e quello di sopra deve essere bastantemente solido, affinchè con le scosse la locomotiva non si alzi e si sposti.

Questa breve descrizione spero che basti a dare un' idea giusta e precisa della locomotiva a 6 ruote di Stephenson, e quando questa sia bene intesa, non sarà malagevole l' intendere quelle che son fatte in altra guisa: perocchè la differenza sta più nella forma e disposizione delle parti che nel modo di operare che rimane lo stesso.

156. *bis. Osservazioni sulla resistenza dei convogli e sul limite di potenza delle macchine.* Si è per esperienza conosciuto che in piano e con carri (*Waggons*) in buono stato, lo sforzo necessario per muovere un convoglio è di $\frac{1}{250}$ del suo peso, ovvero di 4 chilogrammi, per ogni tonnellata di 1000 chilogrammi, vale a dire che una corda senza peso attaccata al convoglio orizzontalmente e fatta passare sopra una carrucola da poter così discendere in un pozzo, metterebbe in moto il convoglio qualora venisse tirata da un peso eguale a tante volte 4 chilogrammi, per quante tonnellate abbia di peso il convoglio. Laonde egli è agevole di determinare in numero di cavalli la forza necessaria per condurre un convoglio di 100 tonnellate, per esempio, in ragione di 36 chilometri ad ora, sopra una strada in piano e dritta.

Lo sforzo è di 400 chilogrammi; lo spazio percorso in un secondo è $\frac{36000}{3600} = 10$.

Il numero dunque di cavalli e di $\frac{4000}{75} = 53\frac{1}{3}$.

Il numero di cavalli sarebbe quindi proporzionale alla velocità se non vi fossero curve, venti ed altre modificazioni nell' attrito, nè cangiamenti nella resistenza dell' aria. Il coefficiente di 4$^{chil.}$ a tonnellata suppone tutte queste cagioni nel grado medio di loro efficacia.

Si sa che sopra un eccellente lastricato la resistenza è quattro volte maggiore, cioè di circa 16 chilogrammi a tonnellata; sopra una strada ferrata, circa otto volte più grande, cioè da 30 a 32 chilogrammi; sopra una cattiva strada quindici volte più grande, ossia circa 60 chilogrammi.

Lo sforzo della locomotiva incontra un limite, perocchè v' ha un limite all' aderenza delle ruote sopra le rotaie; e per fermo s' intende che se la locomotiva fosse legata ed animata dal vapore, le ruote girerebbero senza trasferimento; se invece di esser legata avesse a tirare un peso troppo grande le ruote similmente avrebbero il moto di rotazione, senza avere quello di trasferimento. Egli è forza dunque che il peso sia ridotto fino ad un certo

limite, affinchè la circonferenza di ciascuna ruota si volga ed accada il trasferimento. Cotesto limite è variabile: in un bel tempo secco l'aderenza è circa $\frac{1}{7}$ del peso, da cui le ruote motrici sono gravate; la locomotiva pesa 12 tonnellate, il peso è distribuito in modo che le ruote motrici ne sostengono circa 5; l'aderenza dunque è di $\frac{5000^k}{7} = 715^{ch.}$; ora una tonnellata di convoglio richiedendo uno sforzo di $4^{ch.}$, la locomotiva potrà tirare un convoglio di $\frac{715}{4} = 179$ tonnellate. Nei cattivi tempi quando le rotaie sono *grasse* per cagione della nebbie o della gelata, l'adesione riducesi solo ad $\frac{1}{20}$ del peso che gravita sulle ruote motrici ossia $\frac{5000^{ch.}}{20} = 250$ chilogrammi; e però la locomotiva potrà allora trasportare $\frac{250}{4} = 62$ tonnellate.

Cotesti risultamenti valgono solo per le strade in piano e dritte; per le rampe, non solo bisogna por mente all'aumento di peso che deriva dall'obliquità, ma a parecchie altre congiunture.

LIBRO TERZO

MAGNETISMO ED ELETTRICITÀ

SEZIONE PRIMA

DEL MAGNETISMO.

CAPO PRIMO.

DELL' AZIONE DELLE CALAMITE SOPRA LORO STESSE E SULLE SOSTANZE MAGNETICHE.

157. Nelle viscere della terra, e spesso anche alla superficie, si trovano alcuni corpi che hanno la proprietà di attirare il ferro: cotesti corpi, sia quale si voglia la loro forma e la loro composizione, si chiamano *calamite naturali*, e prima furon dette pietre calamite, perciocchè osservandole sembran pietre piuttosto che sostanze metalliche (1). V' ha delle calamite molto *deboli*, cioè che avendo grande volume han poca forza nel tirare il ferro, e poste sulla fina limatura possono appena innalzarne alcune particelle; ma v' ha delle calamite sì *poderose*, che son capaci di tener sospese delle masse che sorpassano i 50 o anche i 100 chilogrammi.

Per rendere aperta la forza di attrazione che regna tra la calamita ed il ferro, si posson fare le seguenti esperienze:

1° Se introducasi una calamita con uno dei suoi estremi entro la limatura di ferro, si vedranno le particelle metalliche unirsi alla superficie di questa e fra loro, formando una specie di capelliera di parecchie linee di lunghezza: cotesta scambievole adesione delle particelle e la loro disposizione è un fenomeno da notare, sul quale ritorneremo, contenti per ora di considerarlo come una pruova di attrazione.

2° Se si presentino ad una calamita de' pezzetti di ferro più o men grandi, secondo il grado di forza di essa, tostochè son giunti alla distanza di qualche millimetro, si sentono diventare più leggieri, ed indi attratti corron sulla superficie di quella, rimanendovi uniti in guisa che è mestieri una forza più o meno grande per poterneli staccare.

3° Se ad un filo flessibile sospendasi una pallina di ferro e si avvicini a poco a poco alla superficie della calamita, si vedrà questo piccolo pendolo magnetico dalla direzione verticale sensibilmente deviare. Anche in tal guisa si può riconoscere qualche proprietà essenziale di questa forza attrattiva, e dimostrare: 1° che essa opera a distanza; 2° che essa opera attraverso dell'aria del vôto, e di tutt' i corpi, tranne il ferro; 3° che scema crescendo le distanze.

Ogni attrazione essendo reciproca, segue che se la calamita attrae il ferro, deve essere attratta da questo con pari energia e secondo le leggi medesime. Del resto questa necesaria verità può esser direttamente verificata, inversamente ripetendo le antecedenti esperienze, sospendendo cioè la calamita per renderla mobile, e facendo operar sulla medesima un pezzo di ferro da varie distanze.

(1) Quelle che sono amorfe, e più grandi sembran pietre e sono spesso miste a particelle petrose accidentali, son precisamente ferro ossidato. Le più forti appartengono alla specie detta ferro ossidulato da Haüy. Oltre le varietà in *massa*, si trovano in ottaedri più o meno modificati, in dodecaedri romboidali, ed in grani.

Cotesta forza attrattiva essendo distinta da tutte le altre forze della natura, se le è dato un nome particolare, chiamandola *forza magnetica*, dalla voce μαγνης che è il nome dato dai Greci alla calamita (1); perciocchè gli antichi avean qualche cognizione delle sue proprietà: Platone ne parla in parecchi de' suoi dialoghi, e convien risalire fino a' tempi di Pittagora per raccorre le prime nozioni che intorno a questo subbietto ci sono state tramandate.

158. *Ogni calamita ha una linea media e due poli.* — Il ferro sembra essere per rispetto alla calamita ciò che i corpi ponderabili sono per rispetto al globo terrestre: la massa del globo attrae i corpi per ogni direzione, e fa che premano sulla sua superficie. Procuriam di vedere se lo stesso avvenga alla calamita, e se da tutt' i punti della sua superficie si appalesi un' egual forza che attiri le molecole del ferro, dirigendole verso il proprio centro. Riprendiamo perciò il *pendolo magnetico*, cioè la pallina di ferro o il piccol filo di ferro sospeso ad un filo di seta. Tenendo la calamita alla stessa distanza dal pendolo; tosto si vedrà che certi punti della superficie lo fanno molto deviare, nell' atto che altri poco o nulla; vi sono principalmente due parti opposte le quali manifestano grande azione, e nell'intervallo che le separa si mostra il minimo effetto. Si perverrà allo stesso risultamento facendo uso in queste sperienze di una calamita naturale con la sua forma irregolare, ovvero di una calamita artificiale, avente la forma di un cilindro o di un prisma allungato. In questo ultimo caso la differenza è più spiccata, ed agevolmente si ravviserà che le sezioni trasversali prossime al mezzo della calamita non hanno azione veruna sul pendolo, nell' atto che le parti estreme, operano con gran forza. Si può dunque sulla superficie di una calamita e verso la metà di sua lunghezza segnare una linea i cui punti non abbiano alcun potere di attrarre: questa linea la diciamo *linea neutra* o *linea media*; essa divide la calamita in due parti che noi diciamo i due *poli* della calamita. Questa stessa voce *polo* sarà presa anche in due altri diversi significati: noi l' useremo per dinotare le parti della superficie più lontane dalla linea media e sulle quali l' attrazione è più vigorosa; e l' useremo anche per significare un punto ideale, che sarà immaginato entro la calamita, a un dipresso come il centro di gravità nell' interno de' corpi, o nella massa del globo terrestre che gli attira: perciocchè una particella di ferro non è solo tirata da quel punto della calamita cui si va a unire, ma da tutta la parte che rimane dallo stesso lato della linea media, e la risultante di tutte queste attrazioni è applicata in un certo punto, che noi diremo polo di questa parte della calamita. Sarà poi sempre agevole il conoscere in quale dei tre significati noi adopereremo la voce *polo*. In ogni caso poi s' intende avere la calamita due poli ed una linea media.

Questa capitale verità può essere anche dimostrata per mezzo di altre sperienze più facili ed irrefragabili. Se una calamita si rotoli nella limatura di ferro, essa si covrirà di filamenti più o meno lunghi, i quali fan conoscere all' occhio la ineguale attrazione de' vari punti della superficie della medesima. Cotesta disposizione per una calamita naturale si vede espressa nella figura 228, e nella figura 229 per una calamita artificiale. Agli estremi e, e' i filamenti della limatura sono molto lunghi e perpendicolari alla superficie; sulle sezioni meno estreme divengono più corti e cominciano ad inclinarsi come se fuggissero gli estremi per avvicinarsi verso il mezzo; da ultimo nessuna particella di limatura resta aderente alla linea media mm', i filamenti che vi si osservano prendono origine dall' una e dall' altra parte e sembran saltarla per congiungersi ed applicarsi sulla superficie della calamita: mm' è la linea media; le due metà p e p' sono i poli della calamita: questa voce come si è detto si adopera alle volte per indicare le due estremità e ed e', dove la forza si dimostra maggiore, ed altre fiate per significare i punti p e p' i quali possono esser considerati come i centri dell' attrazione.

Simili fenomeni si produrranno col porre sopra una calamita un foglio di cartone levigato, sul quale si faccia cadere con un piccolo staccio della sottile limatura di ferro; scotendo leggermente il cartone, la limatura si disporrà in curve regolari, espresse nella figura 230, le quali disegnan la forma della calamita. Questa esperienza fa vedere, anche meglio delle precedenti, come i fili della limatura, partendo dall' una e dall' altra parte della linea media mm', passino sopra di questa per congiungersi; fa poi anche conoscere la calamita operare attraverso del cartone.

Le calamite potendo esser rotte o tagliate secondo la linea media, sembra a prima giunta che delle due parti che ne risultano non possa dirsi quello che abbiam detto della ca-

(1)... *Magneta vocant patrio de nomine Graici,*
Magnetum quia sit patriis in finibus ortus.
Lucr. VI.

lamita intera. Si potrebbe forse volentieri supporre, che le due parti separate perdessero la lor forza magnetica, e non mai che, conservandone alcun poco, abbiano ad avere ciascuna la lor linea media ed i due poli. Ma si può agevolmente farne l'esperienza. Noi vedremo appresso dall'acciaio temperato durissimo potersi fare delle calamite, le quali si spezzano come il vetro. Prendiamo una calamita così fatta, rompiamola secondo la linea media, e ponghiamo ciascuna delle sue metà nella limatura di ferro per vedere quali modificazioni abbiano sofferto, e vedremo non senza maraviglia esser ciascuna di esse una calamita intera, avente i suoi poli e la sua linea media. Dividendole di nuovo, le metà della metà presenteranno gli stessi fenomeni, e queste suddivisioni potranno ripetersi per quanto si voglia, senza che questa proprietà si perda: gli ultimi frammenti saranno calamite intere, che avranno come la calamita primitiva una linea e due poli. Appresso vedremo la ragione di questo fatto; ma giova di averlo qui indicato per fare intendere la generalità del principio del quale si tratta, e per mostrare anche l'assoluta impossibilità in cui siamo di formare una calamita con un sol polo.

159. *I poli dello stesso nome si repellono, e quelli di nomi contrari si attraggono.* — La figura 234 rappresenta una calamita orizzontalmente sospesa per mezzo di un pezzo di carta o di metallo ad un filo senza torsione: a ciascun de' suoi poli *a* e *b* si presenti successivamente lo stesso polo di altra simile calamita; il polo *a* sarà attirato, il polo *b* ripulso; e si dice che questi due poli *a* e *b* son di nomi contrari, perciocchè essi operano per verso contrario sul polo medesimo che lor si presenta. Se i due poli di questa prima calamita son di nomi contrari, è naturale il supporre esser anche di nomi contrari quelli della seconda e di ogni altra calamita possibile. E per fermo, se si volti quest'ultima calamita per far che operi con l'altro suo polo sulla calamita sospesa, si vedrà i poli *a* e *b* soffrire effetti contrari, essendo *a* repulso e *b* attirato: i due poli dunque della calamita libera che si tiene in mano son del pari di nomi contrari, perciocchè l'uno attrae ciò che l'altro repelle ed al contrario. Ogni calamita libera presenta lo stesso fenomeno. Noi diremo *poli dello stesso nome* i poli delle calamite diverse che operano nella stessa guisa, tanto sul polo *a* che sul polo *b* della calamita sospesa. Questi poli una volta ben segnati sopra più calamite affin di riconoscerli, se una di queste si sospenda per sottoporla all'azione delle altre, si vedrà che tutti i poli dello stesso nome si repellono nell'atto che tutti gli altri nomi contrari si attraggono (1).

Laonde nelle due metà di una calamita dall'una e dall'altra parte della linea media si trovan due forze, le quali da prima ci sembrano identiche, perciocchè operano nella stessa guisa sul ferro, ma che veramente son due forze opposte, perciocchè esse operano per verso contrario sulle calamite, attraendo l'una ciò che l'altra repelle. La linea media è il limite di queste due forze antagoniste; essa è il passaggio dall'una all'altra, e però s'intende come essa debba rimaner neutrale.

160. *Le azioni magnetiche possono essere attribuite ad un fluido particolare.*—Quando si va cercando l'origine delle forze generatrici de' fenomeni magnetici, tosto si conosce non essere essa, come la gravità, una proprietà inerente alla materia ponderabile. L'analisi chimica ha renduto aperto, esser le calamite naturali degli ossidi di ferro, o dei mescugli di ossido di ferro in diverso grado di ossidazione; l'ossigeno dunque ed il ferro sono i soli elementi ponderabili che compongono questi corpi singolari. Or nè l'uno nè l'altro di questi elementi avendo la permanente proprietà di esercitare azioni simili alle magnetiche, è poco probabile che le loro molecole prendano nel combinarsi proprietà essenziali che non avevan da prima; imperciocchè giammai si osserva nella materia ponderabile la forma, la giacitura o la disposizione delle molecole generar forze novelle capaci di operare a distanze sensibili. Oltre di che le forze inerenti alla materia ponderabile possono ben essere aumentate o diminuite, ovvero in mille guise modificate, ma non mai distrutte; nell'atto che le forze magnetiche sembrano accidentali, potendo essere a piacimento distrutte e rinnovate. Si ha di ciò una pruova facendo riscaldare una calamita fino alla incandescenza; per questa operazione essa nulla perde de' suoi elementi materiali, e frattanto perde tutte le sue proprietà magnetiche. Dopo il raffreddamento essa, in quanto alla materia, è quel che era prima; ma in quanto al magnetismo è annullata, non avendo più alcuna azione sul ferro. Dopo, come noi vedremo, se le posson rendere le sue proprietà magnetiche,

(1) Gli antichi par che non ignorassero la ripulsione magnetica. *V. Lucr. lib. VI, v. 1040.*

senza niente darle o toglierle di materia ponderabile.

E per queste e per altre ragioni ancora nascenti dall' insieme de'fenomeni, siamo indotti a considerare il magnetismo come un fluido di una specie particolare, sparso nella massa ponderabile dell' ossido di ferro costituente la calamita. E poichè noi abbiamo conosciuto esservi due forze magnetiche opposte, è mestieri anche conchiudere dell' esistenza di due fluidi contrari, l' uno che *predomina* in un polo, l' altro nell' altro: in tutte le calamite i poli dello stesso nome avranno lo stesso fluido predominante, e perchè essi si repellono, noi ne inferiremo ciascun fluido repeller se stesso; i poli di nomi contrari avran fluidi diversi, e poichè si attraggono, noi conchiuderemo l'uno di tali fluidi attrarre l' altro. In tal modo perveniamo al risultamento definitivo dell' esistenza di due fluidi magnetici, ciascun de'quali repelle se, attraendo l' altro.

Cotesti fluidi debbono del pari trovarsi nel ferro; perciocchè se essi son distinti dalla materia ponderabile, si può ragionevolmente supporre che l' azione nel ferro non cada sulle molecole materiali di esso, ma sì bene sopra i fluidi magnetici contenuti nell' intervallo di queste molecole. Noi dunque abbiamo qualche ragione di cercare il fluido magnetico nel ferro, e tentare esperienze che possan farci scoprire la maniera di sua esistenza.

161. *Sotto l' influenza della calamita, il ferro anche calamita diventa.* — Per dimostrare questa proprietà del ferro, si può fare l' esperienza nel modo indicato nella fig. 235: *f* è un cilindro di ferro sostenuto da una calamita *ab*: al suo estremo inferiore si presenta la limatura di ferro, la quale vi si attacca in forma di fiocco, e vi riman sospesa finchè il cilindro sta sospeso alla calamita: ma se quello da questa si separi, tosto tutta la limatura cadrà senza ravvisarsi più alcuna forza attrattiva. Non è punto la forza della calamita che opera in questo caso a distanza sulla limatura e la tien sospesa, perciocchè se il piccol cilindro non fosse di ferro, il fenomeno non avrebbe luogo; e si può, anche meglio, di ciò restare convinto osservando: 1° che i fili di limatura sceman di lunghezza con l' allontanarsi dall' estremo del piccol cilindro; 2° che vi ha un puto verso la parte superiore ove più non possono essere attratti, il che forma la linea media; 3° che al di sopra di questo punto essi sono un' altra volta attratti e diretti in verso contrario. Onde il piccol cilindro è veramente una calamita, imperciocchè attrae la limatura di ferro ed ha una linea media con due poli: la linea media però non istà nel mezzo.

Invece di presentare la limatura al cilindro sospeso, gli si può presentare un altro simile cilindro, ed esso il porterà (*fig.* 236): se a questo se ne aggiunga un terzo, il porterà egualmente, e così se a questo un quarto, formandosi in tal guisa una specie di catena, della quale la calamita è come il principio ed il primo anello, e in guisa che se questo manchi tutta la catena cadrà e si spezzerà, non avendo più gli altri anelli veruna forza per unirsi l' uno all' altro.

La stessa verità può rendersi aperta ponendo il piccolo cilindro di ferro sul prolungamento della verga magnetica, sopra un foglio di carta bianca (*fig.* 231). La limatura menata intorno al medesimo si dispone regolarmente, e fa vedere in *mm'* una linea media la quale separa le due contrarie azioni, dalle quali il cilindro di ferro è animato, e tosto che si toglie la calamita la limatura non avrà alcuna tendenza a disporsi o a serbare la disposizione primitiva; il che chiaramente dimostra, che il ferro perde le proprietà magnetiche, quando più non è sotto l'influenza della calamita. Variando questa esperienza, si può anche dimostrare che non solo al contatto il ferro riceve dalla calamita le proprietà magnetiche, ma anche ad una certa distanza siccome si vede nella fig. 232.

Laonde il ferro contiene, come la calamita, i due fluidi magnetici; ma nel suo stato naturale esso li tien *combinati*, vale a dire l' uno neutralizzato dall' altro. Ecco perchè il ferro non opera magneticamente sul ferro, perciocchè ciò che è attirato dall'uno de' fluidi è respinto con egual forza dall' altro, e l' azione risultante è intieramente nulla. Al contrario, quando esso è sottoposto all' azione della calamita, cotesti due fluidi son decomposti; l'uno essendo attratto l' altro repulso, accadrà tra essi una separazione, correndo il primo verso la calamita, l' altro all' estremo opposto della massa del ferro, mostrando ivi un predominio per cui rendesi valevole ad attrarre la limatura che gli si presenta. Calamitare dunque significa separare i due fluidi magnetici, e togliere il magnetismo vale riunirli o ricomporli. La seguente esperienza è molto propria a mostrar questo doppio effetto: una calamita orizzontale *ab* (*fig.* 237) porta verso il suo estremo una massa di ferro *f*, la quale presso a poco è il massimo peso che possa portare; al di sopra di *ab* si pone una seconda calamita *a'b'* della forza medesima, i cui poli sien volti per verso contrario; questa seconda calamita si avvicina gradatamente alla prima, e tosto

il ferro *f* staccandosi cadrà. In tal guisa le due calamite prese insieme non posson portare ciò che ciascuna di esse agevolmente porterebbe, e se ne intende la ragione; imperciocchè la seconda calamita distrugge l'effetto della prima, decomponendo per versi contrari i fluidi della massa di ferro *f*, in modo che se le due calamite fossero, così disposte, incorporate l'una all'altra, distruggerebbero a vicenda il loro magnetismo ed il ferro *f* serberebbe interamente il suo stato naturale.

Frattanto il fenomeno della decomposizione de' fluidi magnetici potendo generarsi in mille guise, noi dobbiam procurar di conoscere se questi fluidi soffran di fatto nella sostanza del ferro un moto di trasferimento per lo quale essi passano da un estremo all'altro della sua massa, ovvero se essi soffrano solo uno spostamento molecolare.

162. *Il fluido magnetico non passa dalla calamita nel ferro, nè da una molecola di ferro all' altra vicina.* — Con una calamita si possono magnetizzare de' pezzetti di ferro per quanto tempo si voglia, e per quante volte ce ne venga talento, senza che il suo potere di attirare ne resti per questo in alcun modo scemato, per questa operazione dunque la calamita non perde il suo fluido, dandolo al ferro, perciocchè se così fosse a lungo andare essa ne resterebbe priva.

Si può in oltre osservare che un pezzetto di ferro il quale divien calamita, durante il tempo in cui tocca una vera calamita, quando se ne separa non conserva alcuna traccia delle sue proprietà magnetiche: esso dunque non ha ricevuto nulla, nulla avendo conservato. Da ultimo, e questa osservazione è anche più irrefragabile, il cilindro di ferro il quale tocca la calamita, avendo una linea media e i due poli, ci dimostra aver esso due fluidi, nell' atto che un solo ricever ne potrebbe dalla calamita se fosse la calamita quella che ad esso lo comunicasse. Il fluido magnetico dunque non si trasmette, cioè non passa da un corpo all'altro.

Si potrebbe nondimeno credere, trovarsi l'anzidetto fluido nel corpo come in un vase perfettamente chiuso, in guisa che se non può uscir fuori, possa almeno cambiar luogo al di dentro, riducendosi ora in un punto ora in un altro, accumulandovisi a seconda delle forze che operano sopra di esso. Ma noi farem vedere la cosa non avvenire così: e per fermo, se un filo di ferro si ponga in comunicazione con una calamita, e se ne tagli l'estremo quando i fluidi son separati appalesandosi l'uno sopra e l'altro sotto, non si troverà nella parte separata alcun' ombra di magnetismo. Le apparenze son dunque ingannatrici, e convien guardarsi dal credere che il fluido magnetico possa come l'elettrico decomporsi, e possa andare da un capo all' altro del filo che lo contiene. Questo risultamento sembra un paradosso inesplicabile; ma con un poco di attenzione, si può intendere, siccome noi dimostreremo, la decomposizione magnetica aver luogo separatamente in ogni molecola, solo in questo piccolo spazio potersi il fluido muovere, in guisa che sarebbe mestieri dividere una molecola in due parti per poter separare i due fluidi magnetici. Ecco il principio per mezzo del quale noi potremo render ragione dei fenomeni de' quali si tratta, egualmente che di quelli delle calamite che si spezzano ed indicano che ciascuna parte all' istante diviene una calamita intera.

163. *L'acciaio prende tutte le proprietà magnetiche della calamita.* — La limatura di acciaio è dalla calamita attirata del pari che quella di ferro; essa si unisce alle calamite, e forma anche de' piccoli fili o fiocchi di considerabile lunghezza. I fili di acciaio il cui diametro non oltrepassi una frazione di millimetro somiglian moltissimo a' fili di ferro della stessa dimensione; soltanto sono più restii a ricevere l'azione magnetica. Ma i pezzetti di acciaio di maggior volume, e specialmente quelli di acciaio ben temperato, presentano proprietà assai diverse da quelle del ferro, perciocchè essi sembran da prima non ricevere dalle calamite alcuna sorta d' influenza. E di ciò possiamo renderci certi, ripetendo con piccoli cilindri di acciaio temperato l'esperienza indicata nella figura 236. Il primo cilindro non potrà attaccarsi alla calamita, e sarà impossibile il far con l'acciaio la catena che col ferro tanto agevolmente si forma. Essendo intanto attirabili i piccoli frammenti di acciaio, è naturale il supporre che prendendo un volume di questa sostanza non debba scomparire del tutto la sua sensibilità magnetica, ma solo essere d' uopo di alcune avvertenze per renderla tanto apparente per quanto deve esserlo. E per fermo, si ponga l'acciaio in contatto con la calamita, e vi si tenga per un quarto d' ora, o per una mezz' ora, e si osserverà un notevole fenomeno: questo corpo che sembrava da prima tanto insensibile al magnetismo, diviene col tempo magnetico; esso va sempre più crescendo di forza, ed alla fine sarà attratto del pari che il ferro. Si può anche con un altro mezzo supplire al tempo che par necessario per isviluppare la sua forza, e questo mezzo consiste nell' operar molti *contatti* (*touches*), vale a dire fregare molte volte

per lo stesso verso sulla intera lunghezza dell'acciaio, o facendo passare esso sulla calamita o questa sopra di quello (*fig.* 253). Trattando per esempio in tal modo i piccoli cilindri, de' quali poco innanzi discorremmo, e sopra i quali la calamita non esercitava il suo potere, si vedranno questi, dopo alcuni stropicciamenti, attaccarsi alla calamita ed unirsi tra loro in guisa da formare finalmente una catena magnetica che si prolungherà come quella de' cilindri di ferro. L'acciaio temperato dunque ha per sua prima proprietà di non acquistare potere magnetico, senza toccare per lungo tempo una calamita, o senza ripetuti stropicciamenti. Una seconda proprietà poi assai degna di esser notata è, che dopo questa operazione l'acciaio conserva per sempre il magnetismo acquistato.

In compruova di questa verità basterà di rotolar nella limatura di ferro l'acciaio stropicciato vicino alla calamita, imperciocchè allora vi si ravviserà una linea media e due poli, ed in una parola tutte le proprietà che distinguon le calamite: si vada a tentarlo dopo un giorno, un mese o anche un anno, e si vedrà niente aver perduto di sua forza; da ultimo si avvicinino fra loro i poli dello stesso nome, o quelli di nomi contrarî di queste *calamite artificiali*, per far che possano l'uno su l'altro operare, e si vedrà repellersi i primi, attrarsi i secondi, appunto come fanno i poli delle calamite naturali.

Dal primo distintivo che presenta l'acciaio, vale a dire dallo stento con cui obbedisce all'azione delle calamite, se ne inferisce esservi nella sua sostanza una forza, o più tosto una maniera di resistenza, che impedisce la immediata separazione de' suoi fluidi magnetici, e questa forza vien chiamata *forza coercitiva*. Dalla seconda qualità dell'acciaio, vale a dire dalla facoltà di serbare il magnetismo che ha ricevuto, se ne deduce aver esso anche nella sua sostanza una forza o resistenza che si oppone alla riunione de' due fluidi già separati; perciocchè i fluidi contrarî si attraggono e tendono continuamente a ricomporsi, ovvero a neutralizzarsi, e se non vi fosse una forza che lo impedisse, i due fluidi si ricomporrebbero di fatto; e l'acciaio ritornerebbe allo stato naturale tostocchè venisse separato dalla calamita, la quale genera in esso la separazione de' fluidi. Cotesta resistenza alla separazione de' fluidi anzidetti dicesi anche forza coercitiva, egualmente che la resistenza alla loro riunione: non è poi sicuro se la forza coercitiva che si oppone alla separazione de' fluidi sia la stessa di quella che si oppone alla loro riunione.

Par che tra tutti i corpi della natura l'acciaio sia quello che possa subire una grande varietà nella maniera di riunione delle sue molecole, senza che soffra sensibili variazioni nella sua composizione chimica. Temperandolo o riscaldandolo in diverso grado, può un pezzo di acciaio acquistare differentissime proprietà ed anche opposte; se ne possono far delle molle perfettamente elastiche, delle verghe malleabili quasi fossero di ferro, delle lime, de' bulini, o altri istrumenti che son fragili come il vetro: ai differenti stati corrispondon forze coercitive differenti, e la temperatura più *forte* (1), cioè quella che rende l'acciaio duro e fragile, è generalmente quella che gli dà maggior forza coercitiva.

Il ferro anche esso prende un pò di forza coercitiva se è battuto, particolarmente a freddo, o torto: ma per distinguerlo noi diremo *ferro dolce* quello che non ha punto di forza coercitiva.

Dalle cose dette segue, poter noi fabbricare delle calamite alle naturali perfettamente simili, e noi ce ne gioviamo per variarne a nostro talento le dimensioni, le forme, e renderle acconce alle nostre ricerche. Le calamite artificiali han vario nome. Un *ago calamitato* (*fig.* 238) ha generalmente la figura di un rombo. Esso è ordinato tal volta a stare in bilico sopra acutissimo perno di acciaio, mercè un pezzo d'agata *c*; alle volte poi ad esser sospeso ad un fil di seta di un solo elemento, o alla unione di molti fili senza torsione. L'ago calamitato alle volte è un semplice filo di acciaio, un cilindro, o un prisma allungato. Quando le dimensioni dell'ago sono alquanto considerabili o per lunghezza o per grossezza, non basta il passarlo sulla calamita per dargli tutto il magnetismo di cui è capace; è mestieri allora di far uso di alcuni metodi di magnetizzare, dei quali discorreremo in un capo a parte.

Un ago di grandi dimensioni si chiama *verga calamitata*, o semplicemente verga (*barreau*) (2).

La riunione di più aghi o di più lamine calamitate, aventi tutti i poli dello stesso nome rivolti verso la stessa parte, forma un *fascio calamitato* o un *fascio magnetico* (3).

164. *Delle varie sostanze magnetiche e della*

(1) Da nostri artefici dicesi *tutta tempera*.

(2) Non si potrebbe in italiano dire semplicemente verga o spranga, senza aggiungervi calamitata.

(3) Da noi questi fasci sogliono dirsi *magazzini magnetici*.

loro forza coercitiva.—Poichè i fluidi magnetici non si trasmettono; restando essi in certo modo inerenti alle molecole ponderabili dei corpi ne' quali si trovano, chiaramente ne segue, che i corpi semplici magnetici debban serbare le loro proprietà in un modo più o meno apparente in mezzo alle varie combinazioni chimiche delle quali possono far parte. E però si può sempre sperar di rinvenir tracce di magnetismo in tutte le sostanze ferruginose, e tanto più sensibile per quanto maggiore è la proporzione del ferro, e questo infatti accade: trattanto il perossido di ferro, il persolfuro di ferro, ed altri composti ne' quali il ferro entra in piccola proporzione, non sono più magnetici, come il ferro, l'acciaio, la calamita, senza potersi nello stato presente della scienza ritrovar la causa di questo fenomeno. Il nichel, il cobalto, il cromo ed il manganese sono i soli tra i corpi semplici che godono insiem col ferro la proprietà di esser magnetici, e questa proprietà sparisce anche del tutto nella maggior parte de' composti chimici de' quali questi metalli fan parte (1). Intanto con mezzi che saranno indicati, trattando dell' Elettro-magnetismo, si giunge a comprovare degli effetti magnetici, ne' corpi semplici o composti, i quali eran sembrati, sino a questo punto, insensibili a questo genere di forze; ma per questo occorrono delle potentissime calamite.

165. *Modo di riconoscere se una sostanza sia semplicemente magnetica o se sia calamitata.*—Un corpo calamitato è forza che abbia differenti poli, perciocchè abbiam veduto innanzi essere impossibile d'isolare uno de poli della calamita, e per conseguenza uno de' fluidi; i poli di nomi contrari avendo contraria azione sullo stesso polo di un ago calamitato, è chiaro che basterà presentare tutt' i punti di un corpo, allo stesso polo di un ago per riconoscere il suo stato: se l'azione è sempre nulla, il corpo non avrà sensibile magnetismo; se è sempre attrattiva, il corpo sarà soltanto magnetico; se per alcuni punti è attrattiva, ripulsiva per altri, il corpo sarà calamitato, esso avrà due poli, ed una linea media che si potrà segnare. Alle volte avviene che uno stesso corpo presenti più di due poli, ed allora dicesi aver esso de' *punti conseguenti.* Per esempio, l' ago espresso dalla figura 233 offre due punti conseguenti, l' uno in a', l'altro in b'. Per riconoscerli basterà di farlo operare sopra un piccol ago di pruova come quello espresso nella figura 232. Tenendo questo oriz-zontalmente, vi si avvicini verticalmente l'altro ago facendolo salire o scendere in guisa che tutti i suoi punti passino successivamente dinanzi al medesimo polo dell' ago mobile. Se non vi son punti conseguenti, si osserverà una sola attrazione ed una sola repulsione. Se ve ne ha uno, si osserveranno due alternative: per esempio, prima un' attrazione, indi una repulsione, e poi un' altra attrazione. Se vi saranno due punti conseguenti, si osserveranno tre alternative, ec.; perciocchè in una calamita che abbia due punti conseguenti ciascun polo tocca sempre un polo di nome contrario, e le alternative di attrazioni e di repulsione regolarmente succedonsi.

I punti conseguenti posson esser renduti visibili, o immergendo la calamita nella limatura, o mettendola sopra un foglio di cartone o carta sulla quale si sparge con lo staccio della limatura finissima. La seconda di queste esperienze è rappresentata nella figura 233. Noi appresso vedremo come i poli multiplici possono farsi nascere negli aghi, e come si possa farli scomparire ed evitarli, il chè è di molta importanza nella formazione della bussola.

CAPO II.

DELL' AZIONE MAGNETICA DELLA TERRA.

166. *Direzione delle calamite.—Declinazione.—Inclinazione.*—Un ago calamitato, orizzontalmente sospeso ad un fil di seta, o bilicato sopra un perno, non istà in equilibrio in tutte le giaciture, ma prende una direzione determinata verso un punto dell' orizzonte, e se ne vien rimosso vi ritornerà dopo una serie di più o meno rapide oscillazioni. La forza che lo richiama è una forza magnetica, perciocchè in un ago non calamitato il fenomeno non accade. Questa importantissima proprietà dell' ago calamitato si mostra dovunque: in tutti i luoghi del globo, sulla terra ferma e sul mari, sulla cima delle più alte montagne, egualmente che nelle più profonde caverne, dovunque l' ago calamitato prende una certa direzione, alla quale ritornerà se ne vien rimosso. V' ha dunque una forza magnetica, la quale fa ravvisare i suoi effetti in tutt' i punti del globo terrestre; imperciocchè non si può supporre che le calamite da se stesse dirigansi, siccome non è da supporre che i corpi da per se

(1) Secondo alcune sperienze del Faraday vi sarebbero altre sostanze che mostransi magnetiche a temperature molto basse. D. U. 1842.

stessi si muovano: e tanto nell'uno quanto nell'altro caso è mestieri ricorrere ad una forza esterna.

Noi possiamo riconoscere con una facile esperienza che questa forza ha le proprietà essenziali di quella che proviene da una calamita, e non di quella che proviene da una massa di ferro: perciocchè se si rovesciano i poli dell'ago girandolo da un capo all'altro, esso non sarà più in equilibrio in questa nuova posizione, ma farà una giravolta, descrivendo da una parte e dall'altra tutta la mezza circonferenza, per la quale era lontano dalla sua primiera direzione. La forza direttrice dunque distingue i poli, ed opera come la calamita per attrazione sopra l'uno, e per repulsione sopra l'altro, nell'atto che il ferro attrae l'uno o l'altro senza distinzione e con la stessa energia.

Ma dove trovasi il centro di quest'azione magnetica, così generalmente sparsa in ogni punto della terra? È questa una quistione che par difficile ad esser risoluta, e che fu per lo innanzi obbietto di grave discussione tra i fisici. Gli uni poneano con Cardano la sede di questa forza in una piccola stella che forma la coda dell'orsa maggiore; gli altri la poneano nel polo dello zodiaco; e vi fu anche chi, trovando certamente il cielo troppo angusto, immaginava essere al di là del cielo e delle stelle un centro attrattivo donde giugnesse alla terra la forza direttrice delle calamite. Ma Gilbert, il primo fondatore della scienza del magnetismo e dell'elettricità, pose un termine a tutte queste vane ipotesi, dimostrando, per quanto poteasi in quel tempo, essere il globo terrestre magnetico, e l'azione di esso dirigere l'ago calamitato (1).

Mettendo in disamina le osservazioni che sonosi fatte ne' vari climi, noi saremo indotti dal loro insieme a considerare la terra come una enorme calamita la cui linea media sia posta nelle regioni equatoriali. E da ciò nasce un mezzo per distinguere e definire i due fluidi magnetici; perciocchè dicesi *fluido boreale* quello che domina nell'emisfero boreale della terra, e *fluido australe* quello dell'emisfero australe: e poichè i fluidi di nome contrario si attraggono, segue essere il polo *australe* quello che si volge verso il *nord*, ed il polo *boreale* quello che si volge verso il *sud*.

Nello stesso luogo gli aghi calamitati posti a tali distanze da non potere operare l'uno sull'altro, prendon direzioni sensibilmente parallele; ma in due punti del globo fra loro distanti per qualche grado di longitudine, più non si ha questo parallelismo; e però importa il poter definire la direzione dell'ago calamitato, vale a dire di poterlo riferire a linee conosciute ed invariabili, affine di ravvisare quali sono i cambiamenti che questa direzione soffre, col tempo, nello stesso luogo, e quali sono le relazioni che intercedono tra le direzioni che osservansi ne' vari luoghi. Ecco sul proposito alcune definizioni geometriche che importa di bene intendere.

Il *meridiano magnetico* è il piano che passa per il centro della terra e per la direzione dell'ago orizzontale, o semplicemente la comune sezione di questo piano con la superficie della terra. Si sa poi il *meridiano terrestre* o *astronomico* di un luogo essere il piano che passa per questo luogo e per l'asse della terra, e la *linea meridiana* o semplicemente *meridiana* essere la comune sezione di questo piano con la superficie terrestre. Il meridiano magnetico e l'astronomico sono due piani verticali, imperciocchè tanto l'uno quanto l'altro passano per la verticale del luogo nel quale si considerano; ma questi due piani verticali possono fare tra loro un angolo più o meno grande.

La *declinazione* dell'ago calamitato è, in ciascun luogo, l'angolo che fa il meridiano magnetico con l'astronomico, o che val lo stesso, l'angolo che la direzione dell'ago orizzontale fa con la meridiana. La declinazione è *orientale* quando il polo australe dell'ago passa all'est della meridiana, ed *occidentale* quando passa all'ovest. Per esempio, *sn* (*fig.* 243) è la meridiana dell'osservatorio di Parigi, ed *ab* la direzione dell'ago orizzontale dello stesso luogo; la declinazione è occidentale ed è al presente di circa 22°, perciocchè noi vedremo che essa varia col tempo. Vi son de' luoghi sulla terra ne' quali l'ago dirigesi perfettamente secondo la meridiana; per que-

(1) Gilbert scrivea verso la fine del secolo XVI; ed il suo trattato *De magnete magnetisque corporibus et magno magnete tellure* è un vero modello d'invenzione e di perspicacia. Ecco quello che scrive nel III libro di quest'opera, cap. 1, p. 116 dell'edizione del 1628, parlando della direzione degli aghi: *Nunc vero harum rerum causae et admirabiles efficientiae, antea conspicuae, sed non demonstratae, nobis aperiendae sunt. De hisce conversionibus qui ante nos scripserunt omnes tam breviter, tam jejune et ancipiti iudicio opiniones suas tradiderunt, ut nemini vix unquam persuadere, nedum ipsis satisfacere posse videantur, et a prudentioribus, omnes eorum ratiunculae, tamquam inutiles, incertae et absurdae, nullis demonstrationibus aut argumentis suffultae, rejiciuntur; unde et neglecta magis incomprehensa exulavit magnetica scientia.* NOTA DELL'AUTORE.

sti luoghi non v' ha declinazione, e l' insieme de' punti successivi ne' quali tal fenomeno accade forma le così dette *linee senza declinazione*. Noi vedremo che da un polo all'altro vi son per lo meno due linee senza declinazione, le quali attraversano il mare e la terra ferma, seguendo direzioni del tutto flessuose ed irregolari.

Ogni strumento atto ad osservare la declinazione dell'ago dicesi *bussola di declinazione*. Nei nostri climi, e quasi in tutta la terra, l'ago di declinazione avvicinandosi più ai punti cardinali del nord e del sud che a quelli dell' est e dell' ovest, comunemente si dice che esso dirigesi verso il nord.

L' inclinazione è l' angolo che fa con l'orizzonte un ago che possa liberamente muoversi intorno al centro di gravità nel piano verticale del meridiano magnetico. Figuriamoci un ago *abc* (*fig.* 240) mobile intorno di un asse centrale *c*, che possa percorrere una intera circonferenza nel piano verticale *zch*: se questo piano di rotazione coincide col meridiano magnetico, l' angolo *ach* sarà l' inclinazione del luogo. A Parigi l' inclinazione è di circa 70°, ed è il polo australe che va sotto l' orizzonte. L' ago veramente fa con l' orizzonte quattro angoli, che a due a due sono eguali; ma si è convenuto sempre di prendere per la inclinazione il più piccolo dei due angoli che esso forma, ed anche, per fissar le idee, il più piccolo formato dalla sua parte inferiore; onde l' inclinazione è sempre minore di 90°.

Gli strumenti atti ad osservare le inclinazioni sono chiamati *bussole d' inclinazione*.

Se per esempio uno parte da Parigi con uno strumento di questa natura per andare verso il polo boreale della terra, osserverà che l'inclinazione cresce al crescere della latitudine, e vi sarà in questo spazio, ad una certa distanza dal polo di rotazione della terra, un punto ove l'ago d'inclinazione è perfettamente verticale, e dove per conseguenza l' inclinazione è di 90°; questo punto è il *polo magnetico boreale* della terra.

Se al contrario uno parte da Parigi andando verso il polo australe della terra, l' inclinazione diminuirà al diminuire della latitudine, ed arrivando nella zona equatoriale si troverà un certo punto in cui la inclinazione sarà perfettamente nulla, vale a dire dove l' ago d' inclinazione sarà perfettamente orizzontale. Procedendo oltre si avrà un' altra volta l' inclinazione; ma in guisa che il polo boreale dell' ago trovasi sotto all' orizzonte, e tanto più per quanto più cresce la latitudine australe. Vi sarà dunque verso il polo australe della terra un altro punto dove l' ago d' inclinazione si disporrà perfettamente nella direzione del filo a piombo, col suo polo boreale in giù e coll' australe verso lo zenit; e questo punto, la cui precisa posizione non ancor si conosce, è il *polo magnetico australe* della terra.

Sia qualunque il meridiano per lo quale si attraversi la zona equatoriale della terra; si troverà sempre un punto in cui l' ago si disporrà orizzontalmente, e la serie di questi *punti senza inclinazione* forma intorno alla terra una curva la quale si chiama l' *equatore magnetico*. L'anzidetta curva è regolare in una parte del suo camino, ed allora essa segue sensibilissimamente la direzione di un cerchio massimo, il quale sarebbe inclinato all'equatore terrestre per un angolo di 12° in 13°, e che lo taglierebbe da una parte all' ovest della costa occidentale dell' America verso l' Isola Galego, e da un' altra parte verso la costa occidentale dell' Africa, inclinandosi verso il sud, nella parte dell' Oceano Atlantico che separa questi due punti. Ma ripetute osservazioni han fatto del pari conoscere che l'equatore magnetico soffre nel Mare del Sud, tra le isole Sandwich e le Isole degli Amici delle numerose sinuosità delle quali è difficile dar conto.

167. *L' azione magnetica della terra sopra un ago calamitato può esser rappresentata da un coppia, cioè da un sistema di due forze eguali, parallele ed opposte.* Figuriamoci in fatto un ago calamitato *amb* (*fig.* 245) la cui linea media sia in *m*, ed avvertiamo prima di tutto che il fluido australe libero sparso nella lunghezza *am* è sempre eguale in quantità al fluido boreale libero sparso nella lunghezza *mb*; perciocchè gli anzidetti due fluidi nascono dalla decomposizione del fluido naturale, e combinandosi di nuovo si neutralizzano perfettamente. Se intanto ci faremo a considerare l'azione totale che il fluido boreale della terra esercita sull' ago, egli è chiaro ridursi ad una coppia: perciocchè, ad egual distanza, la somma delle attrazioni che esso esercita sul fluido australe di *ma* è uguale ed opposta alla somma delle repulsioni che esso esercita sul fluido boreale di *mb*; e l'ago è sì piccolo per rispetto alla distanza che lo separa dal fluido boreale disseminato nell' emisfero terrestre, che le due azioni delle quali si tratta son perfettamente parallele. Quello che diciamo del fluido boreale terrestre si applica del pari al fluido australe: onde un ago sulla superficie della terra è spinto da due coppie, le quali riduconsi ad una per la composizione delle forze parallele; e però l' azione della terra può finalmente esser rappresentata da una sola coppia.

Segue da ciò la forza magnetica della terra non essere nè attrattiva nè repulsiva, ma sì bene direttrice, non atta ad imprimere alle calamite un qualsivoglia moto di trasferimento.

Questa conclusione può esser riferma'a con parecchie esperienze:

1° Un ago calamitato nuotante sull' acqua, mercè un pezzettino di sughero, prende la direzione del meridiano magnetico, ma non è in verun conto trasferito sulla superficie dell' acqua, il che è un chiaro argomento che la risultante delle azioni terrestri non può dare alcuna componente orizzontale.

2° Un ago calamitato (*fig.* 241) è equilibrato sopra una lamiuetta orizzontale sospesa ad un filo senza torsione, ed in questo stato ancora disponesi perfettamente nel meridiano magnetico, il che accadere non potrebbe se fosse spinto da una forza orizzontale attrattiva o repulsiva.

3° Un simile ago di acciaio non cresce punto nè tampoco diminuisce di peso dopo magnetizzato; or se la forza terrestre avesse una risultante verticale attrattiva o repulsiva, sarebbe assolutamente mestieri che l' ago soffrisse un' alterazione nel suo peso.

I due punti nei quali trovansi applicate le due forze eguali, parallele ed opposte che formano la coppia terrestre, sono i veri *poli* dell' ago. La positura dei medesimi dipende dalla distribuzione del magnetismo, siccome nel seguente capo vedremo; ma in ogni caso, conviene che la linea che gli unisce sia perfettamente diretta nel piano del meridiano magnetico, affinchè l' ago orizzontale si trovi in equilibrio; la direzione dunque di questa linea è quella che ci dà la vera direzione dell' ago calamitato; or siccome la *linea dei poli* che e l' asse magnetico può non coincidere con la *linea delle punte* che è l' asse della figura, è cosa molto importante di evitare questo errore: il che si consegue col seguente metodo detto *metodo di rovesciamento.*

Sia *efgh* (*fig.* 244) un ago orizzontale, i cui poli giacciano irregolarmente, l' uno in *u*, l' altro in *b*; stando l' ago in equilibrio, il suo asse di figura fa faccia per esempio con la linea meridiana del luogo un angolo *ucn*, nell' atto che il suo asse magnetico faccia un angolo *aknt* se si rivolgan le facce senza rivolgere i poli, e poscia si abbandoni di nuovo a se stesso; esso si fermerà nella giacitura *e'f'g'h'* in modo che l' asse *a'b'* sia parallelo ad *ab*, percocchè tale è la condizione di equilibrio; allora l' asse di figura $i'u'$ farà con la meridiana un angolo *u'cn* molto più grande di prima, nell' atto che l' angolo dell' asse magnetico sarà lo stesso; ed è facile l' intendere che la media degli angoli *ucn* ed *u'cn* è precisamente l' angolo *mcn*, cioè la declinazione cercata. È mestieri assolutamente osservare in tal guisa la declinazione col *metodo del rovesciamento* se non si voglia incorrere in errori i quali comunemente giungono ad alcuni gradi.

La *direzione* intanto della forza magnetica della terra si può facilmente definire e ritrovare, perciocchè essa coincide con la direzione dell' ago d' inclinazione che sta in equilibrio nel piano del meridiano magnetico. E per fermo, quando cotesta forza opera sola sopra un ago, non può lasciarlo in quiete se non dopo di aver ridotto l' asse o la linea de' poli nella sua propria direzione; ed affinchè essa operi sola senza esser contrariata dalla gravità o da qualunque altra resistenza, è mestieri che l' ago sia sospeso pel suo centro di gravità, e che possa muoversi nel piano della coppia: duplice condizione la quale nella bussola d' inclinazione trovasi soddisfatta allorchè essa è ben lavorata ed è perfettamente girevole nel piano del meridiano magnetico. Definita questa direzione, noi ci faremo a descrivere gli strumenti che servono ad osservarla, i quali sono la bussola di declinazione, la bussola d'inclinazione, e la bussola delle variazioni diurne.

168. *Bussola di declinazione.* — Questo strumento è espresso dalle figure 259, 260, 261 e 262.

gg' (*fig.* 262) è l' ago della bussola; i suoi poli sono in *a* e *b*; verso il suo centro esso ha un' apertura *t* di 7 in 8 millimetri di diametro, affinchè possa essere facilmente sottoposto al metodo di rovesciamento; sta da se stesso in equilibrio senza contrapposi, e però non potrebbe più tenersi orizzontale nel caso che gli fosse tolto il magnetismo.

cc' (*fig.* 261) è un taglio del cappelletto di agata: questo è mestieri che sia lavorato con molta diligenza, specialmente verso la parte di sopra, dov' è la piccola superficie curva che deve poggiare sulla punta del perno *p*, ed al suo esteriore contorno dove si unisce con l' apertura centrale dell' ago.

Il perno *p* ha la sua punta lavorata sotto un angolo di 15 in 20°. L' anello *aa'* è ordinato ad innalzare l' armatura di mezzo dell' ago, tanto per far che non riposi sul perno quando lo strumento non deve stare in azione, come quanto impedire le oscillazioni troppo ampie. L' asta di tale anello è prodotta fino all' estremo della scatola; nella quale l' ago e disposto, dove finisce in un bottone, il quale si alza e si abbassa a piacimento.

La figura 260 rappresenta il taglio della bussola:

gg' è l' ago;

dd' è un cerchio graduato sul quale si veggono le divisioni corrispondenti all' estremo dell' ago;

bb' l' orlo della scatola, il quale è di rame rosso con tutto il resto dell' apparato;

vv' è il vetro che chiude la scatola per impedire l' agitazione dell' aria;

xy è un asse solido, il quale parte dal fondo della scatola, e può girare sulla sua estremità inferiore conica nella piccola cavità della vite *u*. Questa rotazione fa girare l' asse, e la scatola, e tutti i pezzi corrispondenti; ma il piede dello strumento rimane fermo, insieme col cilindro *ll'* che circonda l' asse *xy*, il quale cilindro è ordinato mercè di 6 raggi quali sono *or*, *o'r'*, a portare il cerchio graduato *zz'*, il quale cerchio *azimutale* si chiama.

Due nonii diametralmente opposti, uno dei quali è rappresentato in *n* (*fig.* 259), son fermati sull' orlo della scatola in modo da poter girare con essa e far conoscere per quanti gradi essa si volga, o che parta da zero, o da una data divisione del cerchio azimutale.

Le viti di livello *vv'* servono a render lo strumento orizzontale mercè una livella *n'*.

tt' (*fig.* 259) è un cannocchiale: esso è disposto sopra un asse di rotazione *ee'* parallelo al cerchio azimutale, e il cui mezzo corrisponde nella verticale del perno. Ed a questo si perviene mercè di piccole viti che sono sull' estremo del *montante m'*. Il cannocchiale nel suo moto di rotazione porta un nonio *is* (*fig.* 259), il quale percorre l' arco graduato *uu'* e fa conoscere immediatamente l' angolo che il raggio visuale fa con l' orizzonte.

Per osservare la declinazione col mezzo di questo strumento, si dispone il medesimo orizzontalmente, si fa girare la scatola per ridurre nel campo del cannocchiale un astro conosciuto del quale si osserva l' altezza, e nello stesso tempo si osserva la corrispondente divisione del cerchio dell' ago e quella del cerchio degli azimut, il che fa conoscere l' angolo del meridiano magnetico con la verticale dell' astro al momento dell' osservazione. Dopo rimane a trovare coi metodi astronomici l' angolo verticale dell' astro col meridiano del luogo per poterne dedurre la declinazione. Se l' ago della bussola non sia stato prima messo a pruova, se non si conosca qual differenza senti col rovesciamento, sarà mestieri che si faccia una seconda osservazione dopo averlo rivolto siccome innanzi dicemmo.

Per dare un' idea de' cambiamenti che soffre la declinazione, abbiamo nella seguente tabella riunite le osservazioni che sonosi fatte a Parigi in diversi tempi.

Declinazioni osservate a Parigi.

Anni	Declinazioni
1580	11° 30' est
1618	8
1663	0
1678	1 30 ovest
1700	8 10
1780	19 55
1785	22 00
1805	22 5
1813	22 28
1814	22 34
1816	22 25
1817	22 19
1823	22 23
1824	22 23
1825	22 22
1827	22 20
1828	22 5
1829	22 12
1832	22 3
1835	22 4

Da ciò si vede

1° Che dopo il 1580 la declinazione ha variato per più di 30°;

2° Che nel 1663 essa è stata nulla;

3° Che il suo cammino è stato sensibilmente progressivo verso l' ovest dalle prime osservazioni fino al 1814.

4° Che dopo quest' epoca sembra retrocedere verso l' oriente.

La *bussola nautica* o *compasso di variazione* non è altro che una bussola di declinazione; essa soltanto è sospesa, affinchè in mezzo alle agitazioni del mare possa tenersi sensibilmente orizzontale. Le figure 263 e 261 rappresentano il prospetto ed una sezione di questo strumento:

bb', orlo della scatola il cui fondo è in *ff'*;

v, vetro che la chiude;

t, perno che sale o scende mercè la vite *w*;

yg', ago il cui cappelletto è in *c*;

rr', sottile foglio di carta foderato con un foglio di talco o altra sostanza rigida e leggera. Questi fogli formano la così detta *rosa dei venti*; essi sono uniti o incollati all' ago per potersi muovere con esso. La *rosa* è un cerchio il cui centro è nella verticale del perno, e nella cui circonferenza sono le divisioni in gradi ed i segni dei venti (1).

(1) V. le note alla meteorologia.

p.p' sono due traguardi, il primo avente una fessura stretta, il secondo larga, nel cui mezzo si pone un filo verticale.

m è uno specchio a facce perfettamente parallele inclinate di 45° che ha presso a poco la larghezza del traguardo oculare *p*. La piccola striscia dello specchio, che corrisponde all'apertura di questo traguardo, è priva di amalgama soltanto dalla parte di sopra, affinchè l'osservatore possa attraverso del cristallo guardare il filo del traguardo *p'*.

o è la posizione dell'occhio nel momento dell'osservazione. Mercè i due traguardi si prende la mira verso un astro o un oggetto posto sull'orizzonte, ovvero elevato per 15 o 20° al di sopra del medesimo. Nello stesso tempo si vede sullo specchio per riflessione, in *i*, una parte della linea di *fede f*, la quale è segnata in nero sull'orlo esterno della scatola, ed in *i* la divisione della rosa che trovasi di rincontro alla linea di fede, cioè nel piano verticale del perno e delle fessure dei traguardi.

In questo modo si conosce in una sola vista l'angolo dell'ago o del meridiano magnetico col piano verticale dell'astro o dell'oggetto. Resta a determinare coi metodi conosciuti l'angolo di quest'ultimo piano col meridiano astronomico del luogo, per poterne dedurre la declinazione. Tutto lo strumento va messo sopra una traversa *tt'* (*fig.* 264), la quale si unisce a vite sopra un piede dove possa comodamente girare; un cerchio fisso *cc'* è sostenuto sopra questa traversa; un cerchio interno *ee'* si appoggia sul primo e gira sull'asse xx'. Finalmente la scatola stessa è sostenuta da un cerchio mobile, e rivolgesi sopra se stessa mercè l'asse zz' il quale è perpendicolare ad xx'. Mercè questi due moti rettangolari la scatola si tiene orizzontale: il che forma la così detta *sospensione di Cardano*.

La figura 265 rappresenta una *bussola di agrimensori*, della quale si comprenderà l'uso dopo quello che finora abbiamo detto.

La bussola è stata adoperata da'Chinesi molto prima d'essere adoperata in Europa. Da parecchi documenti autentici, riportati da Duhalde nella descrizione dell'impero della China, si può inferire essersi i Chinesi serviti della bussola per dirigersi sulla terra ferma, più di mille anni avanti Gesù Cristo. Si è creduto che Marco Polo ci avesse portata questa invenzione; ma questo celebre viaggiatore, il quale conobbe tanto bene la China, non ritornò in Europa se non che nel 1295, nell'atto che della bussola si era parlato nel 1180 ne' versi di Guyot di Provins e nel 1266 nella storia di Norvegia.

Tutti sono generalmente di accordo nel considerar gli Amalfitani come i primi inventori della bussola in Europa, e par certo che l'uso di essa siasi diffuso alquanto verso l'anno 1300 (1).

Nei primi tempi credevasi che l'ago calamitato si volgesse direttamente al nord in tutti i luoghi della terra, ed è fama che Colombo fosse rimasto da forte maraviglia compreso osservando una declinazione nel 1492, allorchè percorrea l'Oceano andando alla scoperta del Nuovo mondo. Sembra che il veneziano Cabot, il quale divenne gran pilota d'Inghilterra, avesse fatto simili osservazioni verso il 1500.

Il fatto della declinazione una volta conosciuto, era mestieri scovrire le variazioni cui va soggetta passandosi da un luogo in un altro. Le prime tavole alquanto precise le quali ci rendon certi di questo importante fenomeno, furono compilate nel 1599 dai naviganti olandesi per comandamento del principe di Nassau.

Da ultimo i cambiamenti di declinazione i quali avvengono nello stesso luogo furono nel 1622 scoperti da Gunter, professore al Collegio di Gresham: ei trovò a Londra una declinazione orientale di 6° 13', nell'atto che essa erasi nel 1580 trovata di 11° 15', anche verso l'oriente, da Roberto Norman, quel desso che nel 1576 scoprì l'inclinazione.

169 *bis*. ***Bussola d'inclinazione***. — Essa è rappresentata dalle figure 267 fino a 271.

La figura 268 dinota l'ago d'inclinazione *gg'* guardato nella sua larghezza, e la figura 269 lo fa vedere nella sua grossezza. Le sezioni *s*, *s'*, *s''*, danno una idea della sua forma.

ee' è una specie di ghiera o anello di rame il quale si accomoda a strofinio molto stretto verso il mezzo della lunghezza dell'ago; esso porta un asse anche di rame *cc'*, terminato da piccoli cilindri di acciajo levigati *a* ed *a'* che servono di asse di rotazione. L'asse matematico *aa'* di questi due cilindri convien che passi per lo centro di gravità dell'ago: si procura di conseguir questo scopo, o almeno di approssimarvisi per quanto è possibile, disponen-

(1) Comunemente si crede Flavio Gioja, nato in Positano nella costiera di Amalfi, essere stato l'inventore della bussola, sebbene altri portino opinione essere stati gli Arabi i primi a servirsi dell'ago calamitato per l'uso della navigazione. Ma nei primi tempi l'ago magnetico circondavasi di paglia e ponevasi sull'acqua, per il che è da credere che Flavio Gioja avesse fatto la bussola propriamente detta. V. Tiraboschi *Storia della letteratura italiana*, *Nuovo Dizionario storico*, ec.

do acconciamente l'anello e facendo muovere le viti laterali v, v.

L'ago è posto al suo luogo nella figura 267; il rettangolo sul quale esso si giace è un pezzo importante della bussola. Questo vedesi più in grande e con maggiori particolarità nelle sezioni, l'una per lungo (*fig.* 270), e l'altra per traverso (*fig.* 271). Esso è composto di una traversa fissa tt', la quale porta un coltello d'agata pp', e di un'altra traversa mm' mobile intorno all'asse a. Quest'ultima tiene una forchetta f che alza l'asse dell'ago, quando più non si vuole che posi sul coltello d'agata, ed un pezzo di ritenuta r, il quale impedisce all'asse di muoversi per la direzione della lunghezza sulla forchetta. Tutto questo apparecchio è fatto perchè l'asse dell'ago si trovi perfettamente nel centro del lembo d'inclinazione ll' (*fig.* 267), e perpendicolare al suo piano quando si abbassa la forchetta per incominciare le osservazioni.

Il lembo ll' sta perpendicolarmente fermato sopra una tavoletta solida pp', sulla quale sta anco il *montante* del rettangolo, una gabbia di vetro rr', ed una livella nn'. Tutto questo sistema muovesi intorno di un asse verticale xx', il quale passa per il centro del cerchio ll', ed in conseguenza per lo centro di gravità dell'ago. Un nonio ii', unito alla tavoletta pp', percorre il cerchio azimutale zz', per segnare in ogni istante sopra questo piano gli angoli descritti dal lembo verticale.

Per osservare l'inclinazione con questo strumento, conoscendosi la declinazione, ovvero la direzione del meridiano magnetico, si disporrà il lembo verticale in questa direzione, e l'ago da se stesso si disporrà secondo la linea d'inclinazione: se non si voglia aspettare che esso riducasi perfettamente in quiete, si potrà prendere il mezzo dell'intervallo delle piccole oscillazioni che esso fa prima di fermarsi. Dopo questa prima osservazione si rivolgeranno la facce dell'ago senza rivolgerne i poli, affin di correggere per mezzo di cotal rivolgimento gli errori che prevenir potrebbero o dalla irregolare magnetizzazione, o dalla non giusta disposizione del centro di gravità; ma queste due cagioni di errori non essendo per tal mezzo perfettamente compensate, è forza fare due altre simili osservazioni, dopo di aver rovesciati i poli dell'ago, magnetizzandolo per verso contrario. La inclinazione si avrà prendendo la media tra i quattro risultamenti avuti.

Non è poi assolutamente necessario di determinare innanzi tratto la declinazione. Ed in vero, la coppia terrestre essendo compresa nel piano del meridiano magnetico, l'ago non è mai sforzato ad uscirne, e però esso dovrà muoversi verticalmente quando riducesi a muoversi in un piano verticale perpendicolare a questo meridiano; reciprocamente, se si giri il lembo della bussola fino a che l'ago sia verticale, si può esser certo che esso allora è perpendicolare all'ago di declinazione, e basterà, partendo da questo punto, fargli descrivere un arco di 90° sul cerchio azimutale per condurlo nel meridiano magnetico. Si potrebbe ancora per maggiore semplicità cercare, facendo alquanti tentativi, l'azimut del lembo che dà la minima inclinazione: questa sarà l'inclinazione del luogo, perciocchè da una parte e dall'altra l'ago si avvicina alla verticale.

La seguente tabella contiene diverse inclinazioni osservate a Parigi. Quelle fatte innanzi il 1798 possono essere molto erronee, perciocchè allora non si solea prendere la media tra le quattro osservazioni, siccome non ha guari dicemmo.

Tavola della inclinazione per Parigi.

Anni	Inclinazioni
1671	75°
1754	72 15′
1776	72 25
1780	71 48
1791	70 52
1798	69 51
1806	69 12
1810	68 50
1814	68 36
1816	68 40
1818	68 35
1819	68 25
1820	68 20
1821	68 14
1822	68 11
1823	68 8
1825	68 0
1826	68 0
1829	67 41
1831	67 40
1835	67 24

Da questa tavola apparisce, astrazione facendo da qualche irregolarità, che a Parigi dal 1671 la inclinazione è andata sempre diminuendo, e che la diminuzione ha variato sempre da un anno all'altro.

La scoverta dell'inclinazione rimonta all'anno 1576; essa fu fatta da Roberto Norman ingegnere di strumenti in uno dei subborghi di

Londra: fino a quel tempo erasi creduto che l'ago dovesse tenersi sempre orizzontale, e quando in Europa vedeasi abbassare il polo australe di esso, si pensava che il centro di gravità fosse malamente determinato. Roberto Norman, osservatore più accurato ed ingegnoso di quello che erasi in quei tempi, misurò il contrappeso che era mestieri aggiugnere, e fu menato così ad una delle più importanti scoperte del magnetismo.

169. *Bussola delle variazioni diurne.*— L'ago di declinazione soffre ogni giorno qual che movimento verso l'est o verso l'ovest del meridiano magnetico; alcune volte questi moti son subitanei ed accidentali, altre volte invece regolari e periodici: nel primo caso diconsi *perturbazioni*, e *variazioni diurne* nel secondo. Nei giorni in cui non si hanno perturbazioni, si osservano a Parigi i seguenti fenomeni: durante la notte l'ago è presso a poco stazionario; si mette in moto allo spuntar del sole, ed il suo polo australe (ovvero il suo estremo nord) cammina verso l'ovest quasi fuggisse l'influenza di quest'astro; verso il mezzogiorno, o più generalmente dal mezzogiorno alle tre, giugne alla maggiore deviazione occidentale: e dopo, con moto contrario, ritorna all'oriente fino alle ore 9, 10, o 11 della sera: allora, o che l'ago sia perfettamente tornato alla sua primiera giacitura, o vi si trovi molto vicino, fermasi ed immobile rimane tutta la notte, per ricominciare all'apparir del nuovo sole una simile oscillazione.

L'*ampiezza* della variazione diurna è l'angolo che percorre l'ago dalla sua stazione del mattino fino alla maggiore deviazione occidentale. Quest'angolo è sempre vario; ma risulta da numerose osservazioni del Cassini, essere generalmente maggiore nella state, dall'equinozio di primavera a quello di autunno, e minore durante l'inverno, dall'equinozio di autunno a quello di primavera. La sua grandezza media pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio agosto e settembre, sembra essere di 13' in 15'; e di 8 in 10' pei mesi di ottobre, novembre, dicembre, gennaio, febbraio e marzo. Vi son dei giorni in cui giunge fin a 25', ed altri nei quali non oltrepassa i 5 o 6'.

Siam debitori eziandio al Cassini della importante osservazione, che anche nelle cave dell'Osservatorio di Parigi l'ago di declinazione soffre delle variazioni diurne; ivi ad una profondità di 80 piedi, al coverto di tutte le influenze della luce e del calore del giorno, l'ampiezza della variazione è la stessa di quella che si ha sulla superficie del suolo; e l'ago sta immobile, cammina verso l'occidente, ritorna verso l'oriente nelle ore medesime.

Nelle regioni più settentrionali, come in Danimarca, in Islanda e nella parte settentrionale di America, le variazioni diurne sono generalmente più grandi e meno regolari; sembra anche che l'ago non conservi durante la notte quella immobilità che si osserva a Parigi, e che tocchi il suo punto di massima deviazione occidentale verso la sera. Al contrario procedendo verso l'equatore magnetico, le variazioni diurne si van rendendo minori, e sull'equatore magnetico medesimo spariscono quasi del tutto. Sembra frattanto, secondo alcune osservazioni del capitano Duperrey, che la posizione del sole al settentrione o mezzogiorno dell'equatore terrestre possa essere in certo modo cagione di fare oscillare, da una parte o dall'altra dell'equatore magnetico, i punti che son senza variazione. Al mezzogiorno dell'equatore magnetico le variazioni avvengono in ordine inverso: l'estremo nord dell'ago cammina verso l'est, nell'ora medesima nella quale nell'emisfero boreale cammina verso l'ovest; questo fenomeno notevole è fermato dalle osservazioni fatte nel 1791, 1795 e 1796 nel forte Malbrough di Sumatra ed a Sant'Elena da J. Macdonald; nel 1818, 1829 e 1820 nell'Isola di Francia, in Timor, in Rawak, in Guham, in Movi e nel porto Jackson dal capitano Freycinet: e nel 1822, 1823 e 1824 in molti punti vicini all'equatore magnetico dal capitano Duperrey.

Non si sa ancora in modo preciso se in ciascun emisfero le variazioni diurne si facciano per lo stesso verso, tanto nei luoghi dove la declinazione è occidentale, quanto nei luoghi ove essa è orientale. V'ha sopra di ciò qualche discordanza tra le troppo poco numerose osservazioni che abbiamo, ed è questo un fenomeno sul quale è mestieri richiamare l'attenzione dei fisici.

L'ago d'inclinazione va soggetto a variazioni diurne come quello di declinazione, ma quelle sono meno ampie di queste. Generalizzando questi risultamenti si può ragionevolmente supporre, che un ago calamitato mobile in un piano qualunque soffrirebbe sempre delle giornaliere oscillazioni, e che un ago mobile per ogni verso intorno al suo centro di gravità descriverebbe ogni giorno un cono la cui base sarebbe una ellisse o un'altra curva più o meno allungata nei vari luoghi della terra.

Le variazioni diurne furono la prima volta osservate da Graham verso la fine del 1722; dopo furono studiate con diligenza in Isvezia da Hiorter e Celsio verso il 1740, e da War-

gentinu nel 1750; in Londra da Canton nel 1756; in Danimarca da Lous dal 1765 al 1772; in Roma dal padre Asclepj nel 1772; in Francia dal Cassini dal 1780 al 1790. Dopo questo tempo gli strumenti sonosi renduti più perfetti, le osservazioni si continuano in molti luoghi del globo, ed i viaggiatori intorno al mondo debbon considerarle come gli obbietti più importanti delle loro ricerche.

La figura 266 rappresenta la bussola di variazione. Tutti gli osservatori non posson sicuramente procurarsi uno strumento così compiuto, ma tutti posson disporre degli aghi coi principî medesimi, e giugnere così ad una grande giustezza di osservazioni. Egli è quasi inutile l'avvertire che tutti i pezzi di metallo son di rame rosso purissimo.

zz', tavola di marmo bianco sulla quale poggiano le colonne e la scatola dello strumento.

s,s colonne per la sospensione.

m,m, colonne per lo primo microscopio.

m',m', colonne per lo secondo microscopio.

bb', scatola per la bussola.

aa', ago calamitato, introdotto in un piccolo anello di rame *n*, cui è attaccato un filo, o piuttosto l'unione di più fili di seta senza torsione, ad un capo de' quali è sospeso l'ago, avvolgendosi con l'altro estremo sul piccolo verricello *t*. Questo filo è mantenuto nel centro del cerchio graduato *cc*, ivi attraversando una piccola gabbia di vetro la quale si eleva tra le due colonne *s,s*, e serve perchè l'aria non possa agitarlo nè penetrar nella scatola; voltando il verricello *t* per un verso o per l'altro, si può innalzare o abbassare l'ago. Due lamine di vetro mobili a piacimento chiudono le aperture della scatola che corrispondono ai due estremi dell'ago. Sopra ciascuno di questi estremi è fermata una piccola lamina di avorio portante delle divisioni finissime, la cui ampiezza angolare dipende dalla distanza del centro di sospensione, ed è generalmente di 15' in 20'.

Dopo di aver disposto lo strumento presso a poco nel piano del meridiano magnetico, e dopo di averlo con molta diligenza livellato, si osserva se il filo di seta sia senza torsione, e per alcuni tentativi si giunge a dirigere i microscopi *r* ed *r'* sulla linea di fede dell'ago, la cui traccia si vede sulle due lamine di avorio. Allora egli è facile osservare le deviazioni che esso soffre, o numerando le divisioni che son passate sotto il filo, o seguendo i moti dell'ago medesimo, mercè delle viti di richiamo, le quali fan camminare i microscopi. Le piccole lenti *p,p'* mobili sulle aste *i,i'* servono a leggere la posizione o il cammino di ciascun microscopio sulla traversa che lo sostiene, e che ne regola il moto laterale.

Bisogna avvicinarsi a questo strumento con molta precauzione, e senza avere alcun pezzo di metallo sopra di se.

170. *Perturbazioni dell'ago calamitato.* — Parecchie naturali cagioni operano sull'ago calamitato, o rimovendolo improvvisamente dalla sua giacitura, o almeno turbando la regolarità delle sue variazioni diurne. Tra tutte queste cagioni, l'aurora boreale sembra la più efficace e la più certa: quando questa meteora apparisce nelle regioni settentrionali, il cielo è splendente di luce; ed in tutto il tempo che dura il fenomeno, che alle volte è di 10 in 12 ore, l'ago soffre un'agitazione continua ed una considerabile deviazione. La sommità dell'arco luminoso dell'aurora boreale è quasi sempre nel meridiano magnetico, e la sua *corona*, vale a dire quel cerchio verso il quale diriggonsi i getti di fuoco che sembran venire dall'orizzonte o dall'arco medesimo, si trova sempre presso a poco nel prolungamento dell'ago d'inclinazione. La bussola non sòlo soffre le sue perturbazioni nel luogo dove l'aurora boreale si mostra, ma anche a grandi distanze da questa: a Parigi, per esempio, anche quando non apparisce nel cielo alcuna traccia di luce. Ma generalmente l'agitazione è tanto più grande per quanto più vicina è la meteora e più intensi sono i fenomeni: così la bussola dell'osservatorio soffre talvolta di giorno o di notte una improvvisa deviazione che giugne alcuna fiata oltre ad 1°, senza che se ne scopra l'apparente cagione; e dopo si sa che nello stesso tempo le bussole di Londra e di Pietroburgo han sofferto analoghe perturbazioni, e che nelle contrade del nord si è vista qualche brillante aurora boreale. Un osservatore dunque che nel suo gabinetto sta osservando la bussola, sa ciò che avviene nelle regioni polari, siccome per mezzo del barometro conosce le mutazioni che avvengono nelle più alte regioni dell'atmosfera.

I tremuoti e le eruzioni vulcaniche sembrano anche esercitare un potere sull'ago calamitato, e tal volta cotesti fenomeni lo sconcertano in modo permanente. D. Bernouilli vide nel 1767, per un tremuoto, l'inclinazione diminuire di mezzo grado, ed il padre della Torre osservò dei cambiamenti di alcuni gradi nella declinazione, durante una eruzione del Vesuvio.

Più recentemente nel 1839 il signor Capocci, direttore dell'osservatorio a Napoli, ha osservato la declinazione diminuir tosto di un grado durante un'eruzione del Vesuvio.

Da ultimo si è supposto, gli uragani, la neve e le tempeste avere anche qualche influenza sull'ago calamitato; ma probabilmente i cambiamenti dell'ago, che han dato luogo a questa supposizione, saranno stati effetti delle aurore boreali. Frattanto, quando il fulmine colpisce i corpi calamitati, o quando anche cade a poco lungi dal luogo ove essi sono, altera, distrugge e spesso rovescia il loro magnetismo; se ne sono avuti sventuratamente degli esempi sopra i vascelli: più di una volta il fulmine ha rovesciati i poli delle bussole di servigio, i naviganti allora prendendo il nord per sud correano sicuri a rompere negli scogli.

La scoperta dell'elettro-magnetismo ci farà rendere ragione di questi fenomeni.

171. *Intensione magnetica della terra.* — Uno dei punti più importanti della teoria del magnetismo terrestre è la determinazione della sua intensione pei vari punti della superficie del globo, o per lo stesso punto in tempi diversi. In questi ultimi tempi solamente si è avuta la felice idea di adoperare in queste ricerche mezzi capaci di darci qualche precisione. Graham sembra essere stato il primo che siasi versato intorno a tale quistione in sul cader del 1722; Müschenbroek fece alcuni sforzi per risolverla nel 1729; Lemonnier nel 1776; si tenne contento nel farne conoscere l'importanza; Saussurre volle paragonar la forza magnetica della terra osservandola a Ginevra e sulla cima del Monte Bianco; e finalmente Borda, guardando la quistione in tutta la sua generalità, indicò i mezzi per risolverla con molta approssimazione; e subito dopo, il suo metodo fu adoperato da Humboldt nel suo viaggio in America, ed in un altro in Francia, in Prussia ed in Italia.

Questo metodo è fondato sulle osservazioni delle numerose oscillazioni che fa l'ago liberamente sospeso allorchè è rimosso dalla sua giacitura, ed indi a se stesso abbandonato. Se questo sia regolarmente magnetizzato, e se l'asse di sospensione passi pel suo centro di gravità, esso oscillerà per l'azione della coppia magnetica della terra, come separatamente oscillerebbe ciascuna delle sue metà spinta da una delle forze della coppia. Laonde esso forma un vero pendolo composto, il quale resta perfettamente lo stesso, quando la stessa è la distribuzione del magnetismo in tutti i punti della sua sostanza; perciocchè se il fluido libero soffrisse qualche alterazione, o nella sua quantità o nella sua disposizione, la risultante avrebbe un'altra intensione, o un altro punto di applicazione, e lo stesso ago formerebbe di fatto un pendolo diverso. Supponiam dunque che l'ago resti materialmente e magneticamente lo stesso, una differenza nella durata delle sue oscillazioni dovrà necessariamente dipendere da una differenza nella intensione delle forze che lo spingono; ed essendo la gravità la stessa, sarà mestieri che dipenda da una differenza nella intensione della forza magnetica.

Or, sotto queste condizioni, tra le intensioni della forza e le durate delle oscillazioni, vi passa la relazione seguente: cioè che le forze son tra loro come i quadrati dei numeri delle oscillazioni fatte nello stesso tempo.

Onde chiamando m la forza magnetica che opera sull'ago, allorchè esso fa n oscillazioni in un certo tempo, per esempio in 100", ed m' la forza che l'anima quando fa n' oscillazioni nello stesso tempo di 100" si avrà

$$\frac{m}{m'}=\frac{n^2}{n'^2}.$$

Se per esempio si fosse trovato $n=25$, ed $n'=24$ si avrebbe

$$\frac{m}{m'}=\frac{625}{576}=1,085,$$

cioè la prima forza sarebbe alla seconda come 1,085 ad 1, ovvero come 1085 a 1000.

Per applicare questo metodo si può fare oscillare un ago tanto nel piano del meridiano magnetico intorno alla linea d'inclinazione, quanto perpendicolarmente al meridiano medesimo intorno alla linea di declinazione; si potrebbe anche farlo oscillare in piani diversi, ma non vi sarebbe alcuna ragione di farlo.

Oscillazioni dell'ago d'inclinazione.—Poichè il piano del meridiano magnetico varia ad ogni istante, è mestieri adoperarsi con grande diligenza a disporre la bussola nella vera direzione che questo piano ha nel tempo dell'esperienza; e poichè si debbono numerare molto oscillazioni dell'ago, conviene anche usar molta diligenza a fare che l'asse abbia la maggiore possibile mobilità sopra due coltelli d'agata. Soddisfatte queste condizioni, si rimuove l'ago per 3 o 4° dalla sua giacitura di equilibrio, poscia si abbandona a se stesso, e con un cronometro o con un buono orologio a secondi si numerano con accuratezza le oscillazioni che l'ago fa in un dato tempo. Dopo una serie di osservazioni successive, tra le quali se ne prende la media, si toglie l'ago e si conserva in astuccio, usando tutta l'avvedutezza perchè non riceva alcun urto o alcuna straniera influenza magnetica, e quindi si può trasportare nei viaggi per ripetere l'esperienze in altri punti del globo. Ma affinchè i risultamenti possan meritare qualche fiducia, è me-

stieri che si abbiano più aghi di questa specie, in modo che si possano l' uno con l' altro verificare, e conviene anche ritornare allo stesso luogo e farli oscillare un'altra volta, per assicurarsi che essi abbiano conservato il loro magnetismo. Nel cercare l' inclinazione, può il metodo di rovesciamento (§ 168) farci conoscere gli errori provenienti da irregolare magnetizzazione o da spostamento del centro di gravità; ma nelle ricerche concernenti la intensione, l' ago dovendo restare perfettamente lo stesso, convien guardarsi dal magnetizzarlo in verso opposto, e però è mestieri assicurarsi con tutti i mezzi se il suo magnetismo sia regolare e se ben situato sia il suo centro di gravità.

Oscillazioni dell' ago di declinazione. — La forza che fa oscillare l' ago di declinazione non è che una parte della forza magnetica della terra, ed una parte tanto più piccola per quanto l' inclinazione è più grande; di modo che al polo magnetico dove l'inclinazione è di 90°, l' ago di declinazione non ha più forza nè per dirigersi nè per oscillare. È generalmente essendo i l' angolo d' inclinaziono di un luogo (*fig.* 242), la forza terrestre, la cui intensità sia m, si decomporrà in due altre per la regola del parallelogrammo delle forze (§ 18), l' una verticale, avente per valore $m$sen$i$, la quale è distrutta dalla sospensione, e l'altra orizzontale che ha per valore $m\cos i$, la quale è solo valevole a dirigere e fare oscillare l' ago di declinazione (1). Per un altro luogo dove l'intensione fosse m' e l' inclinazione i', la forza orizzontale sarebbe $m'\cos i'$, e le due forze sarebber tra loro come i quadrati de' numeri delle oscillazioni n ed n', che queste forze fanno eseguire all' ago nello stesso tempo. Si avrà dunque

$$\frac{m\cos i}{m'\cos i'} = \frac{n^2}{n'^2}, \text{ ovvero } \frac{m}{m'} = \frac{n^2\cos i'}{n'^2\cos i},$$

vale a dire, che avendo osservati in due diversi luoghi i numeri delle oscillazioni n ed n', fatti dallo stesso ago nello stesso tempo, per aver la ragione delle forze magnetiche è necessario moltiplicare la ragion dei quadrati di questi numeri delle oscillazioni per la ragione inversa dei coseni delle inclinazioni.

Questo metodo di osservazione sembra meritare qualche preferenza sul precedente: 1° perchè si richiede un artista abilissimo per fare un ago d' inclinazione sufficientemente bene equilibrato, nell' atto che un ago di declinazione si equilibra da se stesso pel pezzo di carta per mezzo del quale è sospeso; 2° perchè i coltelli d' agata e l' asse dell' ago d' inclinazione presentano molto maggiore attrito del filo di seta senza tensione cui l' ago di declinazione è sospeso. Frattanto v' ha nelle oscillazioni orizzontali una sorgente di errori inevitabili; perciocchè uno dei poli dell' ago avendo una tendenza ad inclinarsi al di sotto dell' orizzonte, ne segue che il prolungamento del filo di sospensione non passa mai per lo centro di gravità; donde proviene una differenza nelle due braccia di leva dell' ago orizzontale, la quale varia al variare delle inclinazioni. Ed è tanto più necessario di notar questa cagione di errori, in quanto che essa è sfuggita agli osservatori più accurati; e pure essa è tale da non rendere comparabili le osservazioni fatte in due luoghi, ne' quali molto diverse siano le inclinazioni.

Nelle figure 277 e 278 vedesi la bussola d' intensione del Gambey: la cassa rotonda è di legno, è coverta con un vetro, ed ha due aperture rotonde opposte per guardare l' indice i dell' ago per mezzo del cannocchiale L.

Mettendo in disamina le osservazioni d' intensione che sonosi fatte in vari luoghi della terra, in Europa, in America, nelle isole dell' Oceano, nel Mar delle Indie, e nel Mar pacifico, si perviene al risultamento generale, che la intensione è minore verso l'equatore magnetico, e cresce con l'andare da questo verso il nord o il sud. Par che verso i poli essa sia una volta e mezzo più grande che all'equatore. Nello stesso luogo par che varii anche con le variazioni diurne; ma le tenuissime differenze che soffre meritano con nuove osservazioni di esser meglio fermate (2).

(1) Poichè la forza orizzontale e la forza verticale son due cateti di uno stesso triangolo, l' uno de' quali è adiacente all' angolo d' inclinazione, e l' altro lo sottende, sarà facile ritrovare i due valori riportati dall' autore, sapendosi che in ogni triangolo rettangolo, preso il raggio per unità, ciascun cateto può essere espresso dall' ipotenusa per lo seno dell' angolo sotteso da questo cateto, o per lo coseno dell' angolo adiacente al medesimo. Ed in questo caso si vede chiaro, l'ipotenusa dover essere espressa per m (*fig.* 242).

(2) Siccome vi sono le linee della stessa declinazione, così vi sono anche delle linee ne' cui punti la intensione magnetica è la stessa, e queste diconsi linee *isodinamiche*, le quali però per forma e postura son dalle prima molto diverse: donde segue l' equatore magnetico non essere una linea isodinamica, siccome anche dalle osservazioni è comprovato. Secondo le osservazioni del Duperrey le linee isodinamiche e le linee isotermiche, cioè della stessa temperatura media, hanno molta somiglianza di curvatura e direzione: egli ha trovato ancora, che i punti dell'equatore magnetico sono i più caldi in ciascun meridiano.

172. *Dell' azione della terra sul ferro dolce.* — La terra esercita una continua azione sopra tutte le sostanze che contengon magnetismo; essa opera a guisa di una enorme calamita, la quale continuamente si sforza per attrarre o repellere i fluidi decomposti, e per decomporre i fluidi naturali. I varii corpi magnetici sparsi sulla superficie del globo resistono più o meno a questo universale potere, secondo la intensione della loro forza coercitiva, ma tutti ne vengono in una certa maniera modificati. Il ferro dolce è sotto questo punto di vista il corpo che ci presenta più singolari fenomeni, allorchè ci facciamo ad osservarlo, perciocchè esso non presenta alcuna resistenza alla separazione de' suoi fluidi, e non conserva alcun segno delle azioni magnetiche che ha sofferto. Le seguenti esperienze ci daranno una idea dei fenomeni che possiamo in esso osservare.

Una verga di ferro dolce lunga 2 o 3 piedi, è posta in presenza di un piccolo ago di prova (*fig.* 239).

Quando la verga è tenuta verticalmente o presso a poco nella direzione dell'inclinazione, essa prende un polo australe alla sua estremità inferiore *e*, ed un polo boreale al suo estremo superiore *e'*. Il che agevolmente si può vedere mercè le azioni attrattive e repulsive che essa esercita sopra l' uno o l'altro dei poli dell'ago, allorchè questo si fa scorrere dall' alto in basso per ridurlo successivamente di rincontro a tutte la parti della lunghezza di quella. Per rendersi certo che il ferro non ha alcuna forza coercitiva, e che il fenomeno proviene dall' azione terrestre che decompone il magnetismo di esso, basterà voltar velocemente la verga con l' estremo *e* in alto e con l' altro *e'* in giù, per vedere come il polo australe continui a star nell' estremo inferiore e il boreale nell' estremo superiore, cioè il secondo in *e* ed il primo in *e'*. Laonde i fluidi sono stati in un istante ricomposti per la loro scambievole azione, e dall' azione terrestre in verso contrario nuovamente decomposti.

Ciò che si appalesa in un modo maraviglioso sopra di una verga di una certa lunghezza, con minore intensione apparisce sopra un pezzo più corto posto secondo l'inclinazione; ecco perchè l'effetto sembra quasi nullo, allorchè la verga è tenuta orizzontalmente; e sopra tutto in direzione perpendicolare al meridiano magnetico.

Sotto l' influenza della calamita terrestre tutt' i corpi magnetici divengon calamitati, con poli mobili e variabili, in modo che basta rovesciarli di sopra in sotto per iscambiare i loro poli, e per variare alquanto la loro giacitura o per far che i poli soffran qualche cambiamento di luogo entro di questi corpi. Questo fatto ci fa conoscere quante avvertenze siano necessarie ad usare, quando si voglian fare con le bussole giuste osservazioni; perciocchè il ferro, il quale è adoperato nella fabbrica degli edificî, opera in due maniere su gli aghi calamitati; cioè per la decomposizione magnetica ch'esso soffre da parte dell'ago stesso, e specialmente mercè i fluidi liberi che la terra vi tiene in uno stato di permanente separazione. Con qualche diligenza si possono agevolmente ravvisare le perturbazioni locali, provenienti da questa cagione; perciocchè in uno spazio alquanto ampio, in una lega quadrata, per esempio, l' azione terrestre non produce generalmente che qualche minuto di differenza, tanto nella inclinazione che nella declinazione.

173. *Delle cause meccaniche e chimiche che hanno un potere sulla forza coercitiva.* — Allorchè una verga di ferro dolce è sottoposta all' azione magnetica della terra, basterà darle alcuni colpi di martello dall' uno e dall' altro estremo per fissarvi almeno in parte i fluidi decomposti, pei quali essa opera sull'ago. Dopo la percossa essa diventa una calamita a poli fissi, e comunque si volti, lo stesso fluido si mostrerà sempre allo stesso estremo. Laonde la percossa dà al ferro dolce la forza coercitiva; questa forza è certamente locale, e trovasi solo nelle molecole che han ricevuto il colpo, perciocchè voltando la verga, e percotendola in questa giacitura inversa alla precedente, si magnetizzerà per verso contrario. In tal guisa i suoi poli si possono rovesciare quante volte si vorrà, ed è ancor

Dall' esperienze fatte da Gay-Lussac e Biot nel loro viaggio aereo, e da altri ancora, sembrò potersi conchiudere, l' azione magnetica non iscemare col crescere delle altezze. Ma nelle osservazioni fatte prima di Kupffer non erasi posto mente alle temperature; per la qual cosa essendosi poi conosciuto che l' abbassamento di temperatura fa crescere il numero delle oscillazioni dell' ago magnetico, si è potuto giustamente conchiudere, che la forza magnetica vada scemando col crescere delle altezze. Il che fu anche riformato dalle sperienze fatte da Kupffer sul Caucaso. Non si è potuto ancora conoscere se la inclinazione sulla superficie della terra, al di sopra, ed al di sotto della medesima, sia la stessa. Le osservazioni sugli aerostati sono impossibili, e la diversa natura degli strati terrestri può indurci, al di sotto del suolo, in errori grandissimi.

degno da notare, che dopo qualche giorno, e talvolta anche dopo talune ore, la forza coercitiva è sparita e ci voglion nuovi colpi per riprodurla. Questa piacevole sperienza è come il principio di un gran numero di fenomeni, intorno ai quali mi intratterrò a discorrere tanto più volentieri, perchè niuno per quanto io mi sappia, ne ha dato la vera spiegazione. Tutti sanno che le sostanze magnetiche son presso che sempre in uno stato di magnetizzazione più o meno spiccata. Un certo Giulio Cesare chirurgo di Rimini fu il primo ad osservare la trasformazione del ferro in calamita: ei notò questo fatto verso il 1590 sopra una verga di ferro che avea sostenuto una certa fabbrica di mattoni sulla sommità di una torre della chiesa di Santo Agostino. Dopo, Gassendi verso il 1630 fece l'osservazione medesima sulla croce del campanile di S. Giovanni d'Aix, la quale era caduta, perchè colpita dal fulmine: ei ne trovò la parte inferiore consumata dalla ruggine, e vi ravvisò tutte le proprietà della calamita. Da questo tempo le osservazioni sonosi moltiplicate, e si è conosciuto che il ferro alquanto arrugginito è quasi sempre una calamita più o meno poderosa; il che deve dirsi anche del ferro fuso, dell'acciajo e delle altre sostanze magnetiche. Da ultimo si è conosciuto la ruggine, ovvero l'ossidazione, non essere assolutamente necessaria perchè un corpo si magnetizzi, ma essere sufficiente il sottoporlo a qualche azione meccanica, il torcerlo cioè, il batterlo, il limarlo o in qualunque maniera tormentarlo; per esempio, nella bottega di un magnano tutti gli strumenti son calamite, e non è raro il trovar degli aghi, degli strumenti da tagliare ed altri oggetti d'acciajo che presentino segni di magnetismo polare. In tutti questi fenomeni non è nè l'azione chimica ne l'azione meccanica che magnetizzano i corpi, ma è l'azione della terra continuamente operante, la quale decompone i fluidi, e cotesta decomposizione una volta fatta è mantenuta dalla forza coercitiva, proveniente dall'azione chimica o meccanica delle molecole. Per rendermene certo con l'esperienza, mi è stato sufficiente il paragonare le quantità di magnetismo che prendono i corpi, secondo la giacitura che lor si dà rispettivamente alla direzione della forza terrestre. In una posizione verticale essi si magnetizzano fortemente per mezzo dell'ossidazione o delle azioni meccaniche, ed il polo australe è sempre dalla parte inferiore. Nelle giaciture più obblique l'effetto è minore, ma sempre per lo verso richiesto dal polo boreale della terra, il quale ne' nostri climi è il polo dominante. In conseguenza di ciò si posson fabbricare delle fortissime calamite con fili di ferro con verghe di ferro o di acciajo. Per magnetizzare i fili di ferro senza calamita, se ne potran tagliare 30 o 40 capi della lunghezza, per esempio, di un piede, e tenendoli verticalmente, torcerli ad uno ad uno sopra se stessi fino a renderli aspri e fragili: ciascuno di essi resterà fortemente calamitato, e quindi riunendoli insieme se ne faranno de' fasci coi quali si potran calamitare le più forti verghe, secondo i metodi de' quali di certo discorreremo. Per magnetizzare le verghe di ferro o di acciaio senza calamita, basterà batter le prime tenendole in sito verticale, e stropicciar le seconde sulle prime sempre per lo stesso verso.

Le calamite naturali non essendo altro che ossidi di ferro, è probabile che le loro proprietà magnetiche sian l'effetto dell'azione della terra che sopra di esse ha operato fin dal tempo della loro formazione. Perciocchè le miniere di ferro in questi tempi esistenti non son certamente antiche quanto il mondo; e senza supporre che il ferro da prima sia stato puro e metallico, è certo che le combinazioni nelle quali è inviluppato alla superficie del globo, ed in tutta la estensione della crosta sulla quale facciamo le nostre osservazioni, non furon sempre quelle che sono al presente. Le operazioni chimiche, che da tanti secoli perennemente si eseguono e si rinnovano nelle viscere della terra, menano le più inerti molecole per mille combinazioni diverse, e variano in molte guise le primitive loro aggregazioni. Le miniere magnetiche son come gli altri elementi ponderabili soggette a continui cambiamenti, e si può con certezza affermare in ogni momento alcune decomporsene e formarsene altre, i cui poli son disposti secondo le leggi del magnetismo generale della terra.

Questa al certo sarà stata la prima cagione che ha eccitato il magnetismo nelle calamite naturali, tanto in quelle che i Cinesi da due o tremila anni posseggono, quanto in quelle da Pitagora e Platone osservate, ed in quelle delle quali al presente ci gioviamo per le nostre ricerche.

Noi dunque conosciamo solo il magnetismo eccitato come mezzo per eccitarne.

Cotesta conseguenza è stata giusta fino ai tempi di Oerstd, il quale ha aperto un nuovo campo nelle scienze, dimostrando, come in una delle seguenti sezioni si dirà, che anche l'elettricità può sviluppare il magnetismo.

174. *Dell' azione della terra sopra i ferri*

dei vascelli, e dei mezzi per correggere la deviazione che la bussola ne soffre. — Sopra le navi si fa uso di grandi masse di ferro: alcune sono adoperate nella loro struttura e restan fisse, altre fan parte dell' armamento delle medesime e sono più o meno mobili, come i cannoni di ferro, o di ferro fuso, le ancore, le catene, i carratelli ed ogni maniera di strumenti. Tutti questi corpi magnetici, sparsi qua e là nelle varie parti della nave, debbono avere ed hanno in fatti un notabile potere sulla bussola. Le deviazioni generate da questa causa meritano tutta l' attenzione dei fisici; esse giungon sovente fino a 15 o 20 gradi, e quando anche fosser 15 o 20 volte minori, sarebbero più che sufficienti ad esporre i naviganti a gravissimi rischi.

Par che Wales, astronomo della spedizione di Cook, sia stato il primo a notar questa sorgente di errori per le osservazioni che si fanno in mare; Downie poi ne fece conoscere la vera cagione, ed il capitano Flinders, celebre per le sue scoperte e per la sua intrepidezza, fece con successo i primi tentativi per mettersene al coperto. Son già pochi anni da che Bain ha richiamata l' attenzione sopra questo punto importante, e molti ufficiali della marina inglese ne han fatto obbietto di loro ricerche, ed il professore Barlow di Voolwich è stato dalla Società reale di Londra coronato pei felici risultamenti ai quali è pervenuto versandosi intorno a questo argomento. Onde noi ci atterremo all' opera del signor Barlow in quello che diremo.

L'ago può essere in una nave deviato 1° per la decomposizione del fluido che eccita esso stesso nelle sostanze magnetiche; 2° per lo magnetismo permanente che queste sostanze possono avere per effetto della loro forza coercitiva; 3° per lo magnetismo passaggiero che esse aver possono per la influenza della calamita terrestre.

La prima cagione non può generare considerabili effetti; e si possono questi schivare ponendo la chiesola ad una gran distanza dai pezzi di ferro, il che si può sempre fare.

Per la seconda cagione vi sarebbe un rimedio molto facile, perciocchè l' ago calamitato trovandosi posto, rispettivamente ai diversi poli o centri magnetici della nave, ad una distanza molto grande per rispetto alla sua lunghezza, ne segue che ciascuno di questi centri opera sul medesimo per mezzo di una coppia. Componendo tutte queste coppie parziali, si avrebbe dunque una copia risultante, la quale resterebbe sempre la stessa in tutt' i climi e per tutte le posture del vascello. Questa coppia poi si comporrebbe con la coppia terrestre, e quindi si avrebbe la deviazione dell' ago.

Ma nello stesso luogo quando il vascello facesse una rivoluzione intorno ad un asse verticale, la coppia terrestre conservando la medesima direzione nello spazio, e la coppia della nave girando con questa, chiaramente si vede doverne risultare una deviazione variabile avente un massimo a destra del meridiano magnetico ed un altro a sinistra, in modo che la media tra queste due posizioni estreme dell' ago darebbe la vera direzione di esso. Per altre latitudini la coppia terrestre sarebbe più intensa o più obbliqua, ma la declinazione si troverebbe anche nello stesso modo facendo fare al vascello una rotazione intorno di un asse verticale.

Da ultimo, la terza cagione è più potente delle altre due, ed i suoi effetti, continuamente variabili, sono anche i più difficili ad esser misurati e corretti. Noi supporrem per un momento che questa cagione operi sola per deviar l' ago calamitato. In questo caso s' intende che tutt' i corpi magnetici del vascello diventan calamite a poli variabili; perciocchè la nave girando intorno a se stessa per un verso o per l' altro, questi corpi presenterannosi diversamente all' azione della terra e soffriranno perciò delle diverse decomposizioni. Questi fenomeni, già intricati nello stesso luogo, il sono maggiormente quando il vascello solcando il mare passa successivamente in regioni nelle quali la direzione o la intensione della coppia terrestre varia diviene. Tutti questi diversi effetti non possono esser previsti, e neanco dalla teoria additati, e però solo si possono neutralizzare facendo delle esperienze più o meno ingegnose. Ecco perciò i mezzi che il signor Barlow propone per venirne a capo.

Essendo il vascello in una rada tranquilla dove possa essere voltato, si sceglie sulla riva ad una certa distanza un luogo dove si possa vederlo in tutto il giro che gli si farà fare intorno a se stesso. Ivi si pone un osservatore con una bussola ed un teodolite o qualche altro strumento per misurar gli angoli. Sul vascello vicino alla bussola già posta nella chiesola, sta un altro osservatore con simile strumento. Ad un segno convenuto gli osservatori drizzan la mira l' uno all' altro, e ciascuno di essi misura l'angolo che il suo ago fa con l'asse del rispettivo cannocchiale. Poichè gli osservatori miransi a vicenda, gli assi de' due cannocchiali formeranno una sola linea, la quale diremo *linea centrale.*

Or la bussola della riva non soffrendo alcuna perturbazione, è chiaro, che se neppur quella del vascello ne soffrisse, i due aghi sarebbero paralleli e farebbero lo stesso angolo con la linea centrale, perciocchè la distanza di alcune centinaia di piedi che passa tra queste non può mai ingenerare cambiamenti sensibili nella declinazione. La differenza dunque tra questi due angoli è la deviazione prodotta dai corpi magnetici del vascello nel tempo dell' osservazione. Supponiamo che per mezzo di alcune manovre, facili ad eseguire durante la calma, si faccia fare al vascello una intera rivoluzione, e che ad ogni rombo di vento che esso percorre o ad ogni angolo di 10 o 12° di giro si faccia una osservazione simile alla precedente; avrassi così per ognuna di queste giaciture la quantità della deviazione locale generata dai corpi magnetici dei quali il vascello è carico. Dopo si potrebbero trovare; se l' uopo il richiedesse, mercè di altre operazioni, le deviazioni corrispondenti a ciascun grado.

Finita questa prima operazione, l' osservatore che sta sulla riva leva la sua bussola e vi pone quella del vascello, situandola propriamente nel luogo medesimo sopra una specie di gabbia di legno la quale possa fare una rivoluzione intorno alla verticale del perno del l' ago. Questa gabbia è rappresentata dalla figura 276. Sopra una delle sue facce si vedono di passo in passo de' buchi ordinati a ricevere il *compensatore magnetico*; daremo questo nome ad uno strumento, il quale deve correggere e fare conoscere la deviazione prodotta dal ferro del vascello.

Il *compensatore magnetico* è composto di un'asta *t* di rame rosso avente un pollice e mezzo di diametro; e di due lamine di ferro *f*, *f'* di 12 o 13 pollici di diametro (misure inglesi) di una grossezza tale che un piede quadrato pesi 3 lib. Queste due lamine son separate da un foglio di cartone e premute al centro l'una verso l'altra dalla chiocciola esterna della vite dell' asta di rame, e verso la circonferenza da piccole chiocciole di ferro, e questo è tutto lo strumento, il quale si dispone nel modo espresso nella figura 276. Allora la gabbia di legno portando il compensatore nel suo moto di rotazione, l'ago della bussola dovrà risentirne diversamente gli effetti nei varî azimut, e mercè varî tentativi si giungerà finalmente a fargli soffrire in tal modo tutta la serie delle deviazioni che esso provò sul vascello: fatto ciò, si nota con diligenza la giacitura del centro della lamina rispettivamente all' ago della bussola, e quando questa si è riposta a suo luogo sul vascello, si accomoda il compensatore sul piede che la sostiene (*fig.* 275) in modo che abbia relativamente ad essa la giacitura medesima.

In tal guisa la deviazione, anzichè tolta, sembra raddoppiata, imperciocchè il compensatore genera un effetto perfettamente eguale a quello del ferro del vascello, e per lo verso medesimo. In fatti la deviazione è raddoppiata, ed è appunto questo raddoppiamento che ce la farà conoscere. Levasi prima d' ogni altro il compensatore, e si osserva la declinazione, la quale supponiamo per esempio che sia di 36° verso l' ovest. Indi si pone al suo luogo il compensatore, e si osserva un' altra volta la declinazione, la quale supponiam che sia di 40° verso l' ovest. Questo secondo risultamento essendo maggiore del primo, è chiaro che le azioni locali fan crescere la declinazione. La differenza 40—36=4 fa vedere che il compensatore per parte sua la fa crescere di 4°; il ferro dunque del vascello la farà crescere di altrettanto, e però la vera declinazione è di 36°—4°=32 gradi. Al contrario se l' osservazione fatta col compensatore desse un risultamento più piccolo, converrebbe conchiudere che le azioni locali diminuiscano la declinazione, e la differenza delle due osservazioni dovrebbe aggiungersi alla prima per avere la declinazione del luogo. È mestieri dunque in ogni caso attenersi a questa regola generale: fare due osservazioni, l' una senza compensatore, e l' altra con esso; toglier la seconda dalla prima, e questa differenza *presa col suo segno*, essendo aggiunta alla prima osservazione darà la declinazione cercata.

Questo ingegnoso metodo non è molto facile nella sua esecuzione.

175. *Del potere del magnetismo sul cammino de' cronometri.*—Parecchi marini abili osservatori han notato che i loro cronometri non avean sulla nave e sul lido la stessa velocità. La differenza giungeva qualche volta da 5″ fino a 10″ per giorno. S' intende di quanta importanza sia questo fenomeno, perciocchè la giustezza delle osservazioni nautiche e geografiche che far si possono per mare, dipende dalla precisione con la quale si misura il tempo. I cronometri avendo tra le loro parti molti pezzi di acciaio, e specialmente de' pezzi mobili che son trasportati dal bilanciere, è naturale il supporre che essi siano per tal ragione sottoposti al potere del magnetismo. La vicinanza infatti di una calamita basta per alterare il loro cammino; siccome si è conosciuto per via di molte sperienze, e si è inoltre trovato che anche le masse di ferro dolce magnetizzate dal-

la terra generano il medesimo fenomeno. La stessa cagione dunque che fa deviare la bussola sulla nave alterando pure il moto dei cronometri, si è anche procurato di neutralizzarla nell'uno e nell'altro caso con lo stesso mezzo: ma quel che per ora si può far di meglio pei cronometri, si è il tenerli nello stesso luogo e nella stessa posizione, e quanto più si possa lontani da tutte le sostanze magnetiche.

CAPO III.

DELLE LEGGI E DELLA TEORIA DEL MAGNETISMO.

176. *Diversi mezzi di paragonare le forze magnetiche.*—Il primo mezzo che si presenta per misurar le forze delle calamite naturali o artificiali, consiste nel metterle in contatto con uno stesso pezzo di ferro, cui si sospendan poi de' pesi successivamente, fino al punto in cui la calamita più non potendoli sostenere gli abbandoni; la somma di tali pesi sarà il limite di ciò che la forza magnetica può sostenere. Questo mezzo non può dare se non un'approssimazione grossolana, la cui insufficienza fu tosto conosciuta, sebbene fosse stato il solo mezzo posto in uso fino al 1780.

In quest' epoca Coulomb con le sue belle scoperte aprì nuove strade alla scienza, e ci diè finalmente de' metodi certi per misurare col maggior grado di precisione tutti gli effetti delle forze magnetiche. In quello che qui appresso diremo, ci gioverem delle memorie da lui pubblicate intorno a questo argomento (tom. 9 *des Savans étrangers*, *Mémoires de l'Academie*, 1784, 1785, 1789, e *Mémoires de l'Institut, tom.* 4 e 6).

Due diversi metodi ha adoperato il Coulomb per misurare le forze delle calamite: 1° *le oscillazioni* di un ago sospeso ad un filo di seta stirato; 2° la torsione de' fili di rame o di argento posti nello strumento da lui detto *bilancia di torsione*, e che ora dicesi anche *bilancia di Coulomb*.

177. *Oscillazioni.*—Abbiam detto altrove che una calamita che oscilla per forza magnetica della terra può essere assimilata ad un pendolo composto; donde segue, che per ritrovare il *valore* assoluto della forza che la muove, basterebbe conoscere il suo momento d'inerzia riferito all' asse di sospensione, il vero sito de' poli, o i suoi centri magnetici, ed il numero delle oscillazioni che fa in un dato tempo (1).

Ma la forza assoluta mercè la quale una calamita compie le sue oscillazioni è un elemento composto che dipende ad un tempo dalla intensione del suo magnetismo e da quella del magnetismo del corpo che opera sopra di essa; perciocchè l'una o l'altra di queste forze diventando doppia, per esempio, anche doppia diverrà la forza risultante, la quale similmente diverrebbe quadrupla se ognuna delle due doppia divenisse.

Non potendo determinare una intensione magnetica, in un modo assoluto, siam costretti a paragonare tra loro le risultanti totali che imprimono il moto. Allora il problema più semplice diventa, imperciocchè il cambiamento d'intensione non arrecando sensibili cambiamenti alla giacitura de' poli, l'asse di rotazione ed il momento d'inerzia resteranno gli stessi; onde possiamo partire dal principio, che *le forze magnetiche, le quali animano una calamita, son tra loro come i quadrati de' numeri delle oscillazioni fatte in un dato tempo*. Dopo di tutto questo noi possiamo paragonare le forze magnetiche che possiede un corpo, tanto se esso possa oscillare, quanto se debba restar fermo in una determinata giacitura.

1° Per dimostrare lo stato magnetico di un ago si sospende orizzontalmente con cappelletto di carta o di metallo ad un sistema di fili senza torsione, e si osserva il numero n di oscillazioni che esso fa, per esempio, in 10', sotto l'influsso della forza della terra; indi se per un mezzo qualunque siasi alterata la intensione, *rimanendo inalterata la giacitura de' poli*, e si voglia paragonare questo secondo stato al primo, basterà sospender l'ago nella stessa guisa, ed osservare il nuovo numero n' di oscillazioni ch' esso fa nello stesso tempo

(1) I meccanici dicon memento d'inerzia di un sistema riferito ad un asse, la somma de' prodotti che nascono moltiplicando ciascuno elemento del sistema per lo quadrato della sua distanza dall'asse. Or si è veduto nel supplimento alla dottrina dei pendoli, che per trovare il centro di oscillazione di un pendolo composto era mestieri moltiplicare prima di tutto ciascuna parte di esso per lo quadrato della sua distanza del centro di sospensione, e poi dividerla somma di tali prodotti per la somma di quelli delle parti medesime moltiplicate per le rispettive distanze dal centro anzidetto: onde apparisce perchè l' Autore abbia detto, che per trovar la forza che anima un pendolo magnetico sia necessario conoscere il momento d'inerzia del medesimo riferito all' asse di sospensione. Chiunque non abbia bendati gli occhi potrà avvedersi che l' Autore usa senza scrupolo il linguaggio della meccanica, supponendo che i giovani l'abbiano apparata prima di apprendere la fisica. Onde è che non potendo questa supposizione valere per la nostra gioventù, era mestieri di supplire alcune cose, altre dichiararne, affinchè quest' opera elementare potesse corrispondere al fine per lo quale io la recava in italiano.

di 10'; la ragione delle due intensioni magnetiche m e m' sarà data dalla seguente proporzione:

$$\frac{m}{m'}=\frac{n^2}{n'^2}.$$

Questo risultamento suppone che l'azione della terra sia stata la stessa nell'uno e nell'altro caso, il che è vero con molta approssimazione, quando le osservazioni sieno fatte nello stesso luogo ed in epoche non molto lontane.

2° Per paragonare i diversi gradi di forza di una calamita, che non possa sospendersi per farla oscillare, si fa operare in differenti stati magnetici sopra un piccol ago di prova di gran forza coercitiva, acciocchè il suo magnetismo non sia decomposto per influsso; ma da prima si osserva lo stato di quest'ago sottoposto alla sola azione della terra. Sia n il numero delle oscillazioni che esso fa in un dato tempo, per effetto della componente orizzontale m del magnetismo terrestre; sia n' il numero delle oscillazioni ch'esso fa nello stesso tempo, sottoposto all'azione della terra e della calamita, essendo m' allora la somma delle componenti orizzontali che operano sopra di esso; sia n'' il numero delle oscillazioni che esso fa, sempre però nello stesso tempo, per un altro stato della calamita, essendo m'' la somma delle corrispondenti componenti orizzontali.

Per la prima e per la seconda esperienza si avrà

$$\frac{m'}{m}=\frac{n'^2}{n^2};$$

per la prima e per la terza si avrà

$$\frac{m''}{m}=\frac{n''^2}{n^2}.$$

Ma supponendo che la calamita di cui si cerca la forza sia posta, nell'uno e nell'altro caso, in modo che la sua componente orizzontale sia anche nel piano del meridiano magnetico e cospirante con quella della terra, egli è chiaro la forza nel primo caso essere $m'-m$, ed $m''-m$ nel secondo. Or la prima e la seconda equazione danno rispettivamante

$$\frac{m'-m}{m}=\frac{n'^2-n^2}{n^2},\ \text{e}\ \frac{m''-m}{m}=\frac{n''^2-n^2}{n^2};$$

dalle quali si ricava

$$\frac{m'-m}{m''-m}=\frac{n'^2-n^2}{n''^2-n^2}.$$

Tale è la ragione delle due componenti orizzontali della calamita ne' due casi, o nelle due successive giaciture nelle quali essa è stata situata per rispetto all'ago.

178. *Bilancia di torsione.*—Quando un filo di metallo è tirato verticalmente da un certo peso, esso prende una giacitura di equilibrio; e se l'anzidetto peso si fa girare intorno a se stesso per una o più rivoluzioni, o solamente per un dato angolo, il filo soffrirà una torsione in tutta la sua lunghezza, e farà forza per rivolgersi e lasciare il peso nella primiera giacitura.

Coulomb il primo ha studiato questa forza di torsione, e noi enuncieremo le notevoli leggi alle quali egli è pervenuto; ritorneremo poi sopra questo argomento nel libro delle azioni molecolari.

1° La forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione.

2° Essa nello stesso filo è in ragione diversa della lunghezza di questo, e non dipende dallo stiramento del medesimo.

3° Pei fili della stessa sostanza e di varia grossezza, l'anzidetta forza è proporzionale alla quarta potenza dei diametri.

Coteste leggi sonosi verificate sopra i capelli, sopra la seta, e sopra i fili di argento, di ferro e di ottone di differenti diametri.

La bilancia con la quale si misura la forza magnetica per mezzo di questa forza di torsione è rappresentata nelle figure 272, 273 e 274. La figura 272 rappresenta tutto lo strumento messo in opera, la figura 274 n'esprime un taglio orizzontale corrispondente all'estremo del filo, e la figura 273 ne fa vedere il *micrometro* superiore. Questo micrometro è composto nel seguente modo, ss' è una lamina circolare dalla quale è terminato il cilindro ll', essa è perforata nel centro da larga apertura o; mm' è un disco mobile, il quale si applica giustamente sulla lamina ss', girando sopra di quella con dolcissimo strofinio, ed è nel suo moto di rotazione mantenuto da un piccol tubo che si eleva dal mezzo di ss'; verso il centro c del disco mm' sta un buco triangolare, un angolo del quale corrisponde perfettamente al centro, e per quest'angolo passa il filo $f\ l$, il quale si avvolge sul verricello t sostenuto da' due pezzi fissi p e p', sopra i quali esso può girare. La lamina ss' ha il lembo graduato, ed il disco mm' tiene un punto di riscontro che percorre le divisioni del lembo anzidetto, il quale perciò indica i diversi gradi di torsione che si danno al filo nella estremità superiore.

Nella figura 272 si vede la tanaglietta che si attacca all'estremo inferiore del filo; essa porta una specie di staffa di rame sottile, nella

quale si pone l'ago calamitato. e per evitare le oscillazioni troppo prolungate si adatta alla staffa una *ventola*, la quale s'immerge in un vaso pieno d'acqua. Sul contorno della gabbia s'incolla una striscia di carta, sulla quale son segnate le divisioni di grado in grado, la grandezza delle quali è determinata dal prolungamento de' raggi. come *cr*, *cr'*, ec. Il filo deve occupare il centro di queste divisioni, e questa condizione è adempita quando un raggio visuale qualunque cade sopra due divisioni diametremalmente opposte, per esempio sopra 0 e 180, sopra 90 e 360, ec.

La bilancia essendo accomodata, si determina la giacitura di equilibrio del filo, ponendo nella staffa un ago non calamitato; indi vi si pone un ago calamitato del peso medesimo, e si volge il micrometro superiore per un verso o per l'altro fino a che il piano di equilibrio del filo coincida con la direzione di quest'ago: allora siam certi che l'ago sta nel meridiano magnetico e che il filo è senza torsione. Supponiamo intanto che il micrometro si volti per deviar l'ago della sua giacitura, per portarlo per esempio in *c'a'*, (*fig.* 274), in modo che esso formi col meridiano *mm'* un angolo *aca'* di 20°. Sia di 180° l'angolo per cui il micrometro siasi fatto girare: il filo non segnando che 20° nel suo estremo inferiore, la torsione che gli rimane sarà di 180°—20°, ovvero 160°; e questa sarà la forza che si equilibra con la *forza direttrice* della terra, vale a dire la componente orizzontale che tende a rimenar l'ago nel meridiano magnetico. Sia *m* la intensione della forza orizzontale terrestre *fa'*; essa si può risolvere in due, l'una *pa'* che si distrugge o almeno che non fa girar l'ago, e l'altra *ta'* la quale è interamente efficace; il valore di quest'ultima quantità sarà *m*sen *v*; chiamando *v* l'angolo di *deviamento aca'* (1). Al di sotto di 15 o 20° gli archi possono esser presi come sensibilmente eguali a' seni, e però la forza direttrice resterà espressa da *mv*.

Nell'esempio arrecato *v* è uguale a 20°, onde 20°*m* è la forza che si equilibra con una torsione di 160°; e poichè la forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione, segue finalmente che per 1° di declinazione la forza direttrice sarà solamente $\frac{160}{20}=8$. In generale noi ridurrem così la forza direttrice ad un grado di distanza.

Il medesimo ago avendo ricevuto un'altra quantità di magnetismo, converrebbe per esempio voltare il micrometro di 495° per avere una declinazione di 15°; la forza direttrice dell'ago sarebbe allora di $\frac{495-15}{15}=\frac{480}{15}=$ 32: cioè sarebbe quadrupla di quello che era nella prima esperienza.

Per determinare la forza di una calamita, la quale non possa essere orizzontalmente sospesa nella bilancia, si fa operar sopra l'ago della precedente esperienza, e per maggiore semplicità si dispone in guisa che il suo centro di azione cada sensibilmente in *a* (*fig.* 274). Allora si volge il micrometro per ottenere una declinazione minore di 20°, ed è facile l'intendere come l'esperienze si possan fare, tanto nel caso che la calamita operi per attrazione, quanto nel caso che essa operi per repulsione. Nel primo caso la forza direttrice sarà la somma delle azioni della terra e della calamita, nel secondo la loro differenza.

179. *Le attrazioni e le repulsioni magnetiche sono in ragione inversa de' quadrati delle distanze.*—Questa legge fondamentale del magnetismo era stata supposta da qualche fisico, ma Coulomb è stato il primo ad esibirne una dimostrazione rigorosa per due metodi de' quali ci faremo a discorrere.

1° *Per le oscillazioni.* — Un piccol ago di pruova sospeso ad un fil di bozzolo, e messo al coverto delle agitazioni dell'aria, supponiamo che faccia 15 oscillazioni in 1''. Sia *m* la forza orizzontale della terra che muove l'ago; sopra di esso si faccia operare il polo attrattivo di un lungo filo di acciajo fortemente calamitato e tenuto verticalmente nel piano del meridiano magnetico.

Con esperienze preparative si conoscerà che per ottenere il maggiore effetto possibile, è mestieri che l'estremo del filo d'acciaio in azione oltrepassi di 10 linee circa il piano orizzontale dell'ago; supponiamo dunque che il filo sia così disposto.

In una prima esperienza, l'ago essendo a 4 pollici di distanza dal filo, supponiamo che faccia 41 oscillazioni in 1', e chiamiamo *m'* la forza che opera sopra di esso.

In una seconda esperienza, stando l'ago ad 8 pollici di distanza, faccia 24 oscillazioni in 1', e sia *m''* la forza che opera sopra di esso.

Si avrà $\frac{m'}{m}=\frac{(41)^2}{(15)^2}$, $\frac{m''}{m}=\frac{(24)^2}{(15)^2}$.

La forza orizzontale del filo è *m'*—*m* nella

(1) Essendo *a'f* parallela a *cm'*, s'intende esser l'angolo *pa'f* uguale ad *a'ca*, onde *v* può esprimere sì l'uno che l'altro. Apparisce perciò essere $a't=pf=a'f\text{sen}\ pa'f=m\text{sen}\ v$.

prima esperienza, ed $m''-m$ nella seconda; dalle equazioni precedenti risulta

$$\frac{m'-m}{m''-m}=\frac{(41)^2-(15)^2}{(24)^2-(15)^2}=\frac{1456}{351}=4,1.$$

Laonde nella seconda esperienza la forza la quale opera da una distanza doppia, ha una intensione presso a poco 4 volte minore.

Per distanze maggiori trovasi la legge medesima, purchè si abbia cura di correggere i risultamenti, tenendo conto del polo repulsivo del filo, la cui azione allora diventa sensibile.

2° *Per la torsione.*—Anche usando di questo metodo è mestieri adoperar fili molto lunghi per evitare l'influsso de' poli che non son presenti all'ago. I fili di Coulomb avevano 24 pollici di lunghezza sopra una linea e mezzo di diametro. Quello di tai fili che era nella bilancia avea una forza direttrice di 35° di torsione per uno di distanza (178); un altro simil filo ed anche fortemente calamitato fu posto verticalmente nella bilancia, col polo repulsivo in giù, e con l'estremo inferiore circa un pollice al di sotto del livello dell'altro, in modo che se il primo non fosse stato respinto, il loro punto d'intersegazione o d'incrocicchiamento sarebbesi trovato ad un pollice di distanza dall'estremo di ciascuno. Ma il filo sospeso fu fortemente ripulso e si fermò a 24° distante dal meridiano magnetico; e questo è quel che noi diciamo la prima giacitura. Per dargliene una seconda, il micrometro superiore fu voltato per tre circonferenze, ovvero 1080°, ed il filo rimase a 17° di distanza dal meridiano magnetico. Per dargliene finalmente una terza, il micrometro fu voltato per 5 circonferenze, che unite alle tre precedenti fanno 8, pari a gradi 2880, ed esso si fermò a 12° di distanza dal meridiano magnetico.

Nella prima giacitura l'ago sospeso era chiamato nel meridiano dalla forza terrestre e dalla torsione di 24° del filo. Or la forza terrestre essendo, come non ha guari dicemmo, di 35° di torsione per 1° di deviamento, per 24° essa era 840°, i quali uniti a 24 danno una forza totale di 864°.

Nella seconda giacitura l'ago era richiamato dalla forza terrestre, operante alla distanza di 17°, equivalente per conseguenza a $35\times17=595$ gradi di torsione, e dalla torsione del filo la quale era di $1080+17=1097$, che in uno fanno 1692.

Nella terza giacitura esso era richiamato dalla forza terrestre operante alla distanza di 12°, ed equivalente a $25\times12=420$, e dalla torsione la quale era di $2880+12=2892$, che in uno fanno 3312.

Laonde le distanze essendo 24, 17 e 12, le corrispondenti forze repulsive sono 864, 1692 e 3312, cioè presso a poco le forze nella ragione inversa dei quadrati delle distanze.

Egli è facile d'intendere come lo stesso metodo ci condurrebbe a determinare la legge delle attrazioni.

Queste forze delle quali trattiamo, sebbene siano le risultanti di tutte la azioni parziali del magnetismo delle calamite e del magnetismo terrestre, pure siccome dalle attrazioni dei pianeti che operano sopra enormi masse si son potute dedurre le azioni di tutte le molecole della materia ponderabile, così pe' fluidi magnetici noi possiamo conchiudere che la legge delle risultanti che noi osserviamo sia veramente la legge elementare, secondo la quale tutte le particelle della sostanza magnetica operano le une sulle altre. E però noi siam menati a questa verità che dev'essere il fondamento di tutta la teoria, cioè che le molecole dello stesso fluido si repellono, e che quelle dei fluidi contrarii si attraggono nella ragione inversa dei quadrati delle distanze.

180. *Distribuzione del magnetismo nelle calamite di varie forme e determinazione de' poli.* — I due metodi che ci han guidato alla scoperta delle leggi attrattive e repulsive del magnetismo, possono anche giovarci per la determinazione delle intensioni magnetiche in ciascun punto di un ago calamitato.

Un piccolo ago di prova della lunghezza di 6 linee sospeso ad un fil di bozzolo faccia n oscillazioni in 1', per effetto della forza m componente orizzontale della terra. Si presenti ad esso, alla distanza di alcune linee, un filo verticale calamitato ab (*fig.* 251), il quale non faccia declinare l'ago dal meridiano, ma solo ne accresca le oscillazioni; supponiamo che il numero delle oscillazioni in 1' diventi n'. Sia m' la forza che muove l'ago in questo caso. Ad una piccola distanza, la sezione s' che si trova di rincontro all'ago e le sezioni vicine come a' e b' operano con tutta la loro efficacia, mentre le altre operano con obliquità sempre maggiore, e però con forze gradatamente minori. Onde noi potrem considerare la forza attuale operante della calamita come appartenente alla sezione s'. Similmente se noi portiam l'ago alla stessa distanza di rincontro ad s'', avremo un altro numero di oscillazioni in 1' che diremo n'', chiamando m'' la forza generatrice di questo effetto; onde avremo

$$\frac{m'-m}{m''-m}=\frac{n'^2-n^2}{n''^2-n^2}$$

Le forze $m'-m$ ed $m''-m$ sono le intensioni magnetiche della calamita pe' punti che sono di rincontro all' ago: e noi possiamo in tal guisa paragonare le intensioni di diverse sezioni prese nella lunghezza di un filo o di una verga calamitata: soltanto quando si giunge di ricontro al punto *a* è mestieri duplicare l' effetto ottenuto; perciocchè è chiaro che l' effetto sarebbe stato doppio, se la calamita avesse continuato oltre di *a* ad avere delle sezioni di efficacia pari a quelle che sono al di sopra. I diversi risultamenti in tal guisa ottenuti potranno esprimersi geometricamente innalzando sulle diverse sezioni delle perpendicolari che rappresentino le intensioni osservate. Gli estremi di queste perpendicolari formeranno una curva detta *curva delle intensioni*, e che mostra all' occhio tutta la distribuzione de' fluidi magnetici. La figura 250 fa vedere la curva trovata dal Coulomb per un filo di acciajo di cui *am* dinota la metà della lunghezza. Nel mezzo l' intensione, è nulla, e da quel punto partendo, va crescendo fino all' estremità. Pe' fili o per le lamine di varia lunghezza, questa curva è perfettamente la stessa, purchè la lunghezza ecceda i 6 o 8 pollici; essa allora altro non fa che trasferirsi verso gli estremi, lasciando verso il mezzo uno spazio più o meno grande dove l' intensione è quasi nulla. Segue da questa notevole proprietà, che in una lunghezza di oltre 6 o 8 pollici tutte le calamite della stessa forza hanno i loro poli alla stessa distanza dagli estremi; perciocchè i poli altro non essendo che i punti di applicazione delle risultanti totali, questi punti saran posti della stessa maniera, quando le intensioni o le componenti parziali seguono la stessa legge.

Coulomb ha fatto anche conoscere per mezzo del calcolo, che i poli sono per 18 linee lontani dagli estremi; ed ha in pari tempo renduta aperta quest' altra legge per le calamite molto brevi: cioè che i loro poli son presso a poco sulla terza parte della semilunghezza o sulla sesta della lunghezza totale partendo dagli estremi. Quest' ultimo risultamento fa accorgere una maniera di limite coi i poli si avvicinano sempre più, secondo che la lunghezza scema: laonde in un ago di 3 pollici, per esempio, i poli saranno ad una distanza alquanto maggiore di 6 linee, cioè di 7 in 8 linee.

Cotesti risultamenti suppongono che le calamite abbian dimensioni trasversali molto piccole per rispetto alla loro lunghezza, che abbiano una forma regolare in tutta la loro estensione, e siano anche ben calamitate. Quando a tutte queste condizioni non siasi soddisfatto, i poli non potranno essere teoricamente conosciuti, ma sarà d' uopo cercarli direttamente col piccolo ago di prova. Negli aghi che han la figura di un rombo; i poli si avvicinano al centro; negli aghi a freccia, che pur si sogliono usare, è difficile avere una calamitazione regolare e de' poli costanti; nelle lamine larghe o grosse per rispetto alla loro lunghezza, trovansi generalmente de' poli multipli o sia de' ponti conseguenti; da ultimo negli anelli di acciajo molto omogenei si possono avere de' poli diametralmente o irregolarmente opposti, ma la regolare magnetizzazione non fa vedere al di fuori alcun segno di magnetismo: questa proprietà è una conseguenza della teoria della quale ci faremo a dire alcuna cosa.

181. *Teoria del magnetismo.* — Gli antichi non conobbero altro della calamita se non che la proprietà ch' essa ha di attrarre il ferro, e però sopra questo solo fatto appoggiar si potevano nel dare le loro spiegazioni: ora in tutti i secoli quando si è voluto per forza render ragione di un fatto unico nella sua specie, non si è potuto far altro che esprimere il fatto medesimo per mezzo di parole vaghe e metaforiche, o esprimere qualche legame supposto con un altro fatto più generale. Laonde Talete ed Anassagora dicevan la calamita esser dotata di un' anima capace di attirare e muovere il ferro. Cornelio Gemma (1535) essere tra il ferro e la calamita certi raggi invisibili; altri disse esservi una simpatia, altri una similitudine, ed altri una differenza di parti: spiegazioni tutte le quali altro non esprimono che il fatto. Epicuro supponeva gli atomi del ferro unirsi a quei della calamita ed aggrapparsi insieme. Plutarco immaginava essere intorno alla calamita una certa emanazione capace di fare il vôto; ed altri amaron meglio supporvi de' vapori. Cardano sosteneva essere il ferro attirato perchè freddo; ed il medico Costeo di Lodi considerava il ferro come il pasto della calamita. Paragonando così i fenomeni magnetici a qualche altro fenomeno naturale, le ipotesi moltiplicar si potevano, e non si mancò di moltiplicarle all' infinito. Gilbert mostrò bastante coraggio nel condannar tutte queste ed altre simili spiegazioni; in pari tempo egli si mostrò filosofo a sufficienza col non sostituirne alcuna a tutte queste. Venne poi Cartesio coi suoi vortici e con la sua materia accanalata (1), e siccome egli così rendea ragione di tutto, rendette an-

(1) *Principes de la Philos. Part. 3.*

che ragione del magnetismo; il suo sistema fu accolto, e per un secolo fu coronato nelle opere de' suoi discepoli. Cartesio supponeva un vortice di materia sottile passare velocemente sulla terra, andando dall'equatore verso ciascuno de' poli; la materia non arrestarlo punto, essendo essa porosa, ma le sostanze magnetiche avendo delle molecole ramose, molto mescolate ed intessute insieme, opporre al vortice una resistenza maggiore di quella che gli altri corpi oppongono; ecco perchè tali sostanze debbono essere dirette. Frattanto il vortice passa più facilmente per un verso che per un altro, perciocchè sempre uno degli estremi si volge in preferenza verso del nord. Cartesio perciò diceva, i pori del ferro essere coperti di peli i quali cedono e si piegano quando il vortice vien per un verso, ma si rizzano quando esso vien dalla opposta banda. Invece di peli potrebbonsi immaginar delle animelle, o altri ostacoli di qualunque altro genere. Son queste le idee fondamentali del sistema per mezzo del quale si è renduto ragione de' fenomeni magnetici fino ai tempi di Epino. Noi non sappiamo di che dovrem più maravigliare, se dell'alto ingegno del Cartesio, che investigava queste spiegazioni e vi si fermava, ovvero che dopo 100 anni i più chiari ingegni del secolo, come un Eulero ed un Daniele Bernoulli, non abbian saputo far altro che riprodurre cotal sistema, corroborandolo con la loro approvazione.

Epino finalmente si adoperò di sottoporre i fenomeni magnetici al calcolo, e dimostrare che essi possono essere dedotti dalle semplici leggi dell'attrazione e della repulsione: questo era un tornare al vero metodo sperimentale, ed un alzar quella specie di velo, col quale l'amore del sistema avvolge la realità delle cose.

Epino pose un sol fluido magnetico: dopo di lui, ritenendosi i suoi principi, fu creduto esservi due fluidi diversi, i quali uniti insieme formassero lo stato naturale, e separati lo stato magnetico; ma si pensò che cotesti fluidi una volta separati potessero attraversare i corpi e spandersi nella loro massa.

Coulomb finalmente pose i veri principi della teoria che noi oggi ammettiamo, egli ritenne i due fluidi, ma dimostrò non poter essi soffrire ne' corpi che uno spostamento insensibile: e tanto veramente risulta dalle sperienze, delle quali poco innanzi discorremmo. Noi dunque supponiamo: 1° che il *volume apparente* di una sostanza magnetica sia composto di una infinità di piccoli spazi, ne' quali si trova il magnetismo, e di altrettanti ne' quali questo non si trova affatto; 2° che i due fluidi contenuti in ogni piccolo spazio magnetico possan essere separati da una forza, capace di vincere la forza coercitiva; 3° che essi possano disporsi secondo le leggi necessarie per l'equilibrio, ma che non possano giammai uscire dal piccolo spazio nel quale sono stati originariamente rinchiusi, essendo tutto ciò che li circonda impermeabile per essi.

I piccoli spazi ove sta il magnetismo diconsi *elementi magnetici*, ed *elementi non magnetici* quelli nei quali il magnetismo non trovasi. Noi non sappiamo se gli elementi magnetici siano gl'interstizi che separano gli atomi della materia ponderabile, o se siano gli atomi medesimi; come neppur sappiamo se siano degl'intervalli di un'aggregazione di atomi, o sia di una molecola secondaria, o pure le aggregazioni o le molecole stesse. La somma degli elementi magnetici e de' non magnetici formano il volume apparente di un corpo; la ragione tra queste due somme può variare per la temperatura o per la natura delle sostanze, e questi cambiamenti hanno un potere grandissimo sulla distribuzione ed intensione del magnetismo.

Poisson sottopose al calcolo questa ipotesi del Coulomb, ma non è possibile di dare qui un'idea della sua profonda analisi.

CAPO IV.

DE' METODI PER CALAMITARE E DELLE CAGIONI CHE ALTERANO LA FORZA COERCITIVA.

182. *Metodo di Duhamel* ossia *del contatto semplice*. — Questo metodo consiste nel disporre capo a capo sulla medesima linea, ma ad una certa distanza (*fig.* 255) due vigorosi magazzini magnetici *f* ed *f'*, i cui poli opposti sien di rincontro. (Sonosene espresse le sole estremità, ma essi son simili a quello rappresentato dalla figura 249). Sopra questi magazzini, i quali restan fermi durante l'esperienza, si dispone l'ago da calamitare in modo che si distenda sopra i loro estremi, ma non oltre le 15 o 18 linee, e per sole 7 o 8 linee quando non abbia una lunghezza maggiore di 3 o 4 pollici. Indi si prendono le due verghe che servono per istropicciare, una con la mano sinistra e l'altra con la destra, e si appoggiano nel mezzo dell'ago in tinandole sul medesimo per 25 o 30 gradi; poi separandole si stropicciano sull'ago con un moto lento ed uniforme, in guisa che giungano nello stesso tempo alle due estremità, serbando la stessa inclinazione in tutto il loro cammino;

giunte agli estremi, si *alzano* e si riportano nel mezzo per ricominciare la stessa operazione, la quale si ripete tante volte, fino a che l'ago non abbia ricevuto un numero sufficiente di stropicciamenti. Se l'ago sia troppo sottile o troppo fragile, talchè non possa reggere sotto il peso delle verghe che passar debbono sopra di esso, allora si sostiene con un pezzo di legno *l*, sul quale è ancor ben fatto di fissarlo, acciocchè non soffra alcun movimento durante l'operazione. S'intende poi che ciascuna delle verghe *g* e *g'* debba toccare l'ago coi poli corrispondenti a quelli delle verghe fisse verso le quali le prime dirigonsi. Questo metodo è il migliore, trattandosi di calamitare più compiutamente e più regolarmente aghi da bussola, e lamine la cui grossezza non oltrepassi i 4 o 5 millimetri.

183. ***Metodo di Epino** ovvero **del doppio contatto.*** — Avendo le lamine una grossezza maggiore di 4 o 5 millimetri, il metodo del quale testè discorremmo è insufficiente per calamitare a saturazione, ed è necessario allora ricorrere al metodo di Epino, il quale differisce dall'antecedente solo per la disposizione e per lo moto delle verghe mobili. Coteste verghe mettonsi anche in mezzo alla lamina, toccandola ciascuna col polo dello stesso nome di quello della calamita fissa che le è più vicino (*fig.* 254); ma la loro inclinazione dev'essere in questo caso di 15 in 20°, e debbon le spranghe anzidette portarsi insieme dal mezzo verso uno degli estremi, poi da questo estremo verso l'altro, percorrendo tutta la lunghezza della lamina; ripetonsi così gli stropicciamenti o i moti di *va e vieni* da un capo della lamina all'altro, con la doppia condizione di finir sempre nel mezzo, e di arrivarvi ritornando dall'estremo della parte destra, se gli stropicciamenti sonosi incominciati andando verso la sinistra o al contrario; è questo il solo mezzo di passare lo stesso numero di volte sopra ciascuna metà. Per rendere questa operazione più comoda, si posson fissare le calamite mobili in una specie di triangolo di legno o di rame; ma in ogni caso è d'uopo aver cura di lasciare tra le loro estremità inferiori una distanza di 5 o 6 millimetri, la quale si mantien la stessa mediante una piccola lamina *l* di legno, di rame o di piombo.

Questo metodo fu immaginato da Epino, di cui conserva il nome, ed è detto anche *metodo del doppio contatto*, perciocchè le verghe mobili toccano in pari tempo la stessa metà della lamina che si calamita, nell'atto che nel metodo di Duhamel esse toccano separatamente ciascuna di queste metà.

Il doppio contatto è da preferire al contatto semplice, trattandosi di magnetizzare delle verghe grosse, perciocchè in tal modo si eccita magnetismo maggiore; ma non deve esser mai adoperato se trattasi di magnetizzare aghi da bussole, o lamine ordinate per esperienze che richieggon somma precisione, perciocchè col doppio contatto si hanno due inconvenienti che importa con ogni diligenza evitare: primamente si hanno sempre de' poli di forze disuguali; si hanno secondamente spesso de' punti conseguenti, particolarmente se le lamine abbiano molta lunghezza (1).

184. ***Del punto di saturazione.*** — La quantità di magnetismo che si eccita in un corpo cresce con la forza delle verghe che servono a calamitarlo, ma la quantità di magnetismo che conserva ha un certo limite, il quale dicesi *punto di saturazione*. Un ago, per esempio, che facesse 100 oscillazioni in 100″ essendo calamitato con una debole verga magnetica, potrà fare queste 100 oscillazioni in 90″, in 80″, in 70″, ec. allorchè sia calamitato per uno de' metodi precedenti, con verghe fisse e mobili di forze gradatamente maggiori. Ma abbandonato a se stesso dopo ciascuna di queste operazioni, presenterà i seguenti fenomeni: al di sotto di una certa intensione magnetica, di quella per esempio che corrisponde a 100 oscillazioni in 40″, esso conserverà tutto il magnetico che ha ricevuto, cioè dopo mesi o anni farà 100 oscillazioni nello stesso tempo che le faceva subito dopo calamitato, ma le intensioni maggiori di quelle per le quali l'ago farebbe 100 oscillazioni in 30″ o in 20″, decresceranno più o meno rapidamente col tempo, e l'ago si ridurrà di nuovo a fare 100 oscillazioni in 40″: onde questo limite d'intensione sarà il punto di saturazione dell'ago. Dopo tutto questo apparisce, il punto di saturazione di una lamina, o di un ago dipender dalla sua forza coercitiva, e non dalla forza delle calamite adoperate per eccitare il suo magnetismo.

Generalmente si pensa, che i corpi *soprassaturati* di magnetismo tosto riducansi al punto di saturazione; ma nella serie delle mie ricerche magnetiche ho potuto osservare de' corpi svariatissimi per la loro natura, per le loro dimensioni, o per lo grado di lor forza coer-

(1) I due metodi di calamitare de' quali parla l'Autore sogliunsi praticare anche con alcune altre particolarità. V. *Biot, Traité de Physique.*

sitiva, ed ho sempre trovato il punto di saturazione non essere un limite tanto invariabile per quanto si suppone: prima di tutto dopo la magnetizzazione v' ha sempre una *reazione de' fluidi* la quale cambia la loro disposizione ed accresce talvolta la intensione magnetica: secondamente gli aghi soprassaturati perdono a poco a poco i loro fluidi eccedenti, e non è raro il caso di vedere alcune leggiere variazioni anche dopo alcuni mesi. È inutile l' avvertire, che in queste osservazioni è mestieri tener conto delle variazioni di temperatura e di altre cagioni accidentali che potrebbero alterare le intensioni magnetiche.

Per vedere se un ago sia calamitato a saturazione, non v'ha altro mezzo oltre di quello di calamitarlo di nuovo per lo stesso verso con verghe più forti di quelle adoperate la prima volta. Se esso prende una intensione molto più grande, il che si conosce coi metodi poco innanzi indicati, sarà sicuro segno che non era saturato; ma se riceve solo un debole aumento, che perde poi col tempo, potremo esser certi che esso era giunto al suo punto di saturazione.

Non è da credere che si possa accrescere indefinitamente la intensione magnetica di un ago, stropicciandolo molte volte con deboli verghe magnetiche; imperciocchè oltre un certo termine, i nuovi stropicciamenti non giovan punto, e questo avviene quando la resistenza della forza coercitiva è eguale al potere che hanno le verghe di decomporre i fluidi magnetici.

Bisogna anche guardarci dal credere che un ago calamitato con poderose verghe possa senza inconveniente esser nuovamente calamitato con verghe mobili di minor forza; perciocchè quando anche queste operassero per lo medesimo verso delle prime, pure gli farebber perder a poco a poco il suo magnetismo, e lo ricondurrebbero a quel grado d' intensione, che esse gli avrebber potuto dare. Questo notevole fenomeno è un nuovo argomento per dimostrare, che le verghe mobili magnetizzano inducendo in ciascuna molecola delle decomposizioni e ricomposizioni successivi de' due fluidi (1).

185. *Del potere della tempera sulla forza coercitiva.* — Il mezzo più sicuro per temperare l' acciajo a diversi gradi paragonabili tra loro, consiste nel dargli da prima la tempera più dura, e poi *rinvenirlo* (*recuire*) (2) gradatamente fino ad un determinato punto; onde i diversi gradi di tempra altro non sono veramente se non che i diversi gradi di riscaldamento, mercè i quali l' acciajo si fa rinvenire. Per dare ad una verga di acciajo la tempera più dura, si riscalda fino al rosso *ciliegia chiaro*, e si tuffa rapidamente in una grande massa di acqua fredda. Il subito raffreddamento costituisce la tempera: e però affinchè esso riceva una tempera eguale, e non sia punto tormentato, convien che il freddo rapidamente lo circondi e lo colpisca in tutte le sue parti. L' acciajo si può temperare nell'olio, nel sego, nel mercurio, nel diaccio, nelle soluzioni di varie sostanze, o anche nei miscugli refrigeranti; ma sebbene queste diverse maniere di raffreddamento possano produrre qualche effetto sulle proprietà meccaniche delle molle, de' tagli o delle punte, pure non sembra che alterino sensibilmente le proprietà magnetiche dell' acciajo.

Per rinvenire l'acciajo temperato si riscaldt regolarmente sopra un letto di carbone polverizzato, o semplicemente infranto in pezzettt più o men grandi, secondo che si voglia più o meno ricuocere. La grande difficoltà consisterebbe nel misurare in questo caso il diverso grado di riscaldamento; ma l'acciajo gode una notevole proprietà, merce la quale possiam con molta approssimazione misurare la temperatura ch' esso soffre. Quando questo riscaldasi in tal modo, la sua superficie si veste di vivi colori, i quali succedonsi lentamente al crescere della temperatura: da prima una tinta di giallo chiaro, o *giallo color di paglia*, succede al brillante splendore del metallo, ad una temperatura alquanto più alta questa tinta mutasi in *rancio*, indi in *rancio cupo*, poi in *rosso violetto*, appresso in *azzurro vivo*, quindi in color *verdastro* molto rilucente che dicesi *color d' acqua*: questi colori perfettamente distinti corrispondono a temperature, che non son misurate in gradi centigradi, ma si sa che passano più di 200° di differenza tra il giallo color di paglia ed il color d' acqua. La prima di queste tinte sembra corrispondere a circa 200°, e la seconda presso a 450°. Si può poi ricuocere l' acciajo sino al *rosso oscuro* al *rosso*, al *rosso ciliegia*, al *rosso ciliegia chiaro*, il quale fa scomparire tutta la tempera, se, dopo essere stato l' acciajo fino a questo punto ri-

(1) L'elettro-magnetismo ci porgerà altri metodi per calamitare l' acciaio.

(2) È usata dagli artefici la voce *rinvenire* nel significato di ricuocere l'acciaio dopo di essere stato temperato; nè sembrami una voce barbara, essendo tra gli altri significati del verbo *rinvenire* anche quello di *divenir cedente*.

scaldato, si faccia raffreddare all'aria aperta.

Per determinare intanto il potere della tempera, prendesi una lamina di acciaio, si tempera dopo di essere giunta alla temperatura del rosso ciliegia chiaro, si calamita a saturazione, e poscia si osserva in quanto tempo fa 100 oscillazioni; poi si fa rinvenire successivamente fino al giallo color di paglia, al rancio cupo, all'azzurro, ed al color d'acqua, ec.. e calamitandolo a saturazione dopo ciascuna di queste tempere, se le fan fare 100 oscillazioni, osservandone la durata. Egli è chiaro, le diverse intensioni magnetiche di questa lamina dover essere in ragione inversa de' quadrati dei tempi osservati. In tal guisa si giunge a conoscere con l' esperienza: 1° che le lamine che han ricevuto la tempera più dura hanno la maggior forza coercitiva, e ricevon perciò la maggior intensione magnetica, allorquando son calamitate con poderose verghe; 2° che le lamine che sonosi fatte rinvenire fino al turchino delle molle, o anche al color d'acqua serbano una gran forza coercitiva per prendere molta intensione magnetica. Or l'acciaio temperato *a tutta tempera* essendo fragile come il vetro, giova farlo rinvenire fino al turchino, perciocchè poco si perde nella intensione magnetica, e si evitano tutti gli accidenti che provenir potrebbero dalla rottura o da qualche cambiamento di forma.

È mestieri intanto osservare che l' acciaio non si comporta sempre nel modo da noi indicato: talvolta esso prende inevitabilmente de'punti conseguenti, avendo ricevuto la tempera più dura; altre volte non riceve il massimo d' intensione magnetica se non dopo di averlo ridotto fino al rosso scuro, ed anche fino al rosso.

186. *Potere del calorico sul magnetismo.*— Dicemmo altrove che una calamita artificiale o naturale riscaldata fino al *rosso bianco* perde interamente il suo magnetismo, in guisa che dopo di essersi raffreddata resta un corpo inerte senza forza direttrice o magnetica: questa osservazione è molto antica, essa era stata fatta da Gilbert. Ma perdendo questi corpi i loro fluidi liberi, non perdon punto la proprietà di ritornar magnetici, allorchè siano nuovamente calamitati coi metodi dei quali innanzi discorremmo; solo la lor forza coercitiva rimane alterata: quella delle calamite naturali resta scemata, senza che si possa rinvigorirla, e quella delle calamite artificiali riman distrutta, fino a che con una nuova tempera non sia riprodotta.

Cotal ricomposizione del magnetismo per effetto del calorico non si fa in un istante alla temperatura del rosso: essa operasi gradatamente, secondochè la temperatura si eleva. Per rendersene certo, si prenda una verga calamitata di cui si osservi la forza, misurando la durata di un certo numero di oscillazioni, indi si porti successivamente a diverse temperature, e si faccia in ogni volta raffreddare, per osservare nuovamente la sua intensione magnetica; si vedrà tutte queste intensioni formare una serie decrescente, cominciando dalla più bassa fino alla più alta temperatura cui siasi giunto.

Kupffer il quale ha fatto molte osservazioni sul proposito, spiega in un modo soddisfacente tutti i risultamenti da lui ottenuti, supponendo che a gradi eguali di aumento di temperatura corrisponda eguale accrescimento nella durata di uno stesso numero di oscillazioni. Per esempio da 0 a 30° R. ogni grado di temperatura accresce di mezzo secondo la durata di 300 oscillazioni di un ago il quale a 10° faccia 300 oscillazioni in 784", 5. Ma l' esperienze non abbracciano finora molta estensione nella scala termometrica, in modo che si possa la indicata legge con tutta sicurezza applicare.

Kupffer ha del pari notato, richiedersi molto tempo affinchè una data temperatura compia sopra una verga magnetica tutta la ricomposizione che al suo potere corrisponde. Un ago per esempio che sia stato immerso molte volte nell' acqua bollente, in ciascuna delle quali siavisi tenuto per 10', non avrà perduto tutto il magnetismo che potea perdere se non che dopo la sesta immersione: da prima esso faceva 200 oscillazioni in 378"; dopo la prima immersione le facea in 637" dopo la seconda in 642,5; dopo la terza in 645; dopo la quarta in 647; dopo la quinta in 650, 5; dopo la sesta in 652; ed anche in 652 dopo la settima.

Ecco un altro effetto del calorico cui non si era posto ben mente; alla temperatura del rosso ciliegia le calamite, l' acciaio ed il ferro perdon non solo il magnetismo libero che possono avere, ma divengon inetti anche a riceverne la minima quantità; durante il tempo ch' essi sono in questa temperatura, si mostrano, come il legno o la pietra, perfettamente insensibili alla forza di decomposizione delle più poderose verghe magnetiche. Laonde le calamite, l' acciaio ed il ferro hanno un *limite magnetico*, e questo rinviensi presso a poco verso la temperatura del rosso ciliegia.

Qualche analogia molto notevole tra le distanze degli atomi dei corpi e le loro proprietà magnetiche, m' avean fatto pensare che il limite magnetico di varii corpi si dovesse tro-

vare a diversissime temperature, ed ho in fatti con l'esperienza dimostrato:

1° Che il cobalto non cessa mai di essere magnetico, o piuttosto che il suo limite sta ad una temperatura più alta di quella del rosso bianco della maggiore incandescenza;

2° Che il cromo ha il suo limite magnetico alquanto sotto la temperatura del rosso scuro;

3° Che il nichel ha il suo limite magnetico verso i 35°, presso alla temperatura della fusione dello zinco;

4° Finalmente, che il manganese ha il suo limite magnetico alla temperatura di 20 in 25° al di sotto di 0°.

L'esperienze fatte sopra i cinque corpi semplici magnetici, il manganese, il nichel, il cromo, il ferro ed il cobalto, sembran dimostrare:

1° Che il calorico non opera sul magnetismo se non che per la varia distanza che fa serbare agli atomi de' corpi;

2° Che tutte le sostanze diverrebbero magnetiche, se si potesse per un mezzo qualunque avvicinare i loro atomi ad una conveniente distanza.

Ecco a un dipresso quel che finora conosciamo del potere del calorico sopra i fluidi magnetici; e giova sperare che un sì bello e vasto campo di ricerche non resti lungamente negletto, e che quanto prima se ne possa raccorre qualche fondamentale scoperta.

187 *Delle cagioni che possono calamitare le sostanze magnetiche.*—Abbiam veduto essere il calorico una potentissima cagione atta a ricomporre il magnetismo libero; ma esso non può in verun conto operare la separazione dei fluidi, o almeno ci è stato finora impossibile di ottenere per mezzo del calorico la minore calamitazione, anche ne' corpi ne' quali l'equilibrio è più facile ad esser rotto, onde il magnetismo ed il calorico son due agenti naturali, che sembrano non avere alcuna azione diretta l'uno sull'altro.

La luce non sembra più efficace del calorico nel produrre la separazione de' fluidi magnetici. Vero è che alcuni osservatori, e particolarmente il Morichini, han creduto ravvisare un potere magnetico nei raggi solari; io ho voluto da me stesso ripetere con molta accuratezza le sperienze medesime, ma sempre il feci senza alcuna buona riuscita; nè il Reiss e Mozer sono stati di me più fortunati. (*Ann. de Chim. et de Phys. t.* XLII, *p.* 304).

Ma non è a dire lo stesso della elettricità: essa opera sul magnetismo con una forza ammirabile. La scoperta di quest' azione ha fatto nascere l' *elettro-magnetismo*; nuova branca della scienza che ci faremo a studiare dopo l'elettricità, e che in pochi anni ha ricevuto un incremento grandissimo.

188. *Delle calamite naturali ed artificiali.*—Dicemmo già innanzi chiamarsi generalmente calamite naturali le sostanze che escon calamitate dal seno della terra, e calamite artificiali denominarsi quelle nelle quali coi nostri mezzi giungiamo a fissare il magnetismo. Una calamita naturale riscaldata fino al rosso, e poi di nuovo calamitata, sarebbe dopo tale operazione una vera calamita artificiale. Nell' additare quindi i metodi per calamitare, ed i mezzi per cambiare ed accrescere la forza coercitiva, abbiamo fatto conoscere i metodi secondo i quali le calamite si debbano fare; e però altro non ci rimane se non che di far conoscere come esse si possan conservare, e come si possan riunire per accrescere la forza.

Gli aghi, le lamine, ed ogni maniera di verghe, sono calamite di un sol pezzo, le quali essendo state una volta calamitate a saturità conservan molto bene il loro magnetismo: le lamine intanto e le verghe potendo essere disposte in varie guise rispettivamente alla forza terrestre, può questa in certi casi generare una parziale ricomposizione de' fluidi. Ne' nostri climi, per esempio, una verga la quale fosse tenuta in una postura verticale col suo polo boreale in basso, soffrirebbe una diminuzione magnetica; e se stando in questa giacitura ricevesse qualche urto o qualche colpo di martello, potrebbe in breve tempo esser ridotta ad aver una forza tenuissima, e potrebbe anche avere i poli scambiati. Per impedire cotali ricomposizioni si adoperano le *armature*. Generalmente diconsi *armature* alcuni pezzi di ferro dolce, posti in contatto con le calamite, per tenerle operose mercè la decomposizione magnetica che soffrono. Per armare le verghe magnetiche si sogliono parallelamente disporre nelle loro scatole, in guisa che i poli contrari si corrispondano, ed a'due estremi aggiungere trasversalmente due prismi quadrangolari di ferro dolce, i quali compiono il parallelogrammo. Ciascuno di questi pezzi di ferro diventa una calamita che reagisce sopra le verghe per fissarvi i fluidi decomposti.

Gli aghi che sono in azione non possono ricevere armature; nè ve n' è d' uopo perocchè essi girano continuamente per ubbidire alla forza che li muove, la quale fa per essi le veci di armatura.

I *fasci magnetici* sono unioni di molte lamine, le cui armature richieggono maggior diligenza. La figura 219 rappresenta uno di que-

sti fasci fatto secondo il metodo di Coulomb; esso è composto di 15 lamine rettangolari disposte in tre ordini, ciascuno di 5 lamine. Quelle dell'ordine di sopra e di sotto sono per due pollici e mezzo o per tre pollici più corte di quelle dell'ordine di mezzo, onde si ha in ciascuna estremità una *risega* di 15 o 18 linee. Tutte queste lamine, che nel rimanente son di eguali dimensioni, si accomodano nel pezzo di ferro *f*, che lor fa da armatura; un legame *cc'* di rame le stringe in ambi i capi, in guisa che esse vengono a formare un sistema perfettamente stabile. Questi grandi fasci sono ordinati a star fermi, allorchè debbono essere adoperati per calamitare: secondo lo stesso principio si fanno i fasci mobili, ma di minore lunghezza e composti soltanto di 6 o 9 lamine.

La figura 246 rappresenta una calamita *a ferro di cavallo*: essa è composta di molte lamine soprapposte. Dopo di averle temperate, si fan rinvenire e si accomodano in modo che l'una combaci bene con l'altra: due viti *v* e *v'* di ferro o di rame le tengon ferme in questa giacitura. Tali lamine son calamitate prima di essere unite insieme; e per calamitarle si metton co' loro capi di rincontro ai poli contrari di due verghe calamitate, e partendo dal mezzo, ossia dal vertice della curva, si fanno col metodo del doppio contratto tanti sfregamenti per quanti ne son necessari. Un anello *nn'* serve per sospendere la calamita, ed un pezzo di ferro dolce *pp'*, che dicesi *porta-pesi* (portani) o *contatto* (1), si fa stare attaccato a' due poli opposti *a* e *b*. La grossezza dell' ancora generalmente è quanto la terza parte di quella della calamita, e dolcemente ritondata da quella faccia con la quale deve stare attaccata alla calamita, in guisa che essa la tocca per una sola linea. Le calamite ben fatte possono sostenere per mezzo dell'ancora fino a 10 o anche 20 volte il loro peso.

Le armature delle calamite naturali son rappresentate nelle figure 247 e 248: le parti *l*, *l'* sono le *ali* dell' armatura, e le parti *p*, *p'* ne sono i *piedi*. Alle ali si dà una larghezza eguale a quella della calamita, ed una grossezza di circa una linea; le dimensioni dei piedi dipendono dalla forza della calamita, e si debbon fare molti saggi per giungere a trovarne la forma e la grandezza più conveniente.

Si è osservato intorno alle calamite naturali un fenomeno, di cui non si può dare probabile ragione, ed è la debolezza che esse manifestano essendo sopraccaricate. Supponiamo che una calamita possa molto agevolmente portare 20 chilogrammi; se si carichi con questi 20 chilogrammi, e poi ogni giorno vi si aggiunga un piccol peso, il carico si potrà gradatamente accrescere fino a 30, e forse anche fino a 40 chilogrammi. Ma tostochè l'ancora si stacca per lo soverchio peso, riuscirà impossibile di farla riattaccare: la calamita più non tiene con l'ancora, ed è mestieri ritornare ad una carica minore de' 20 chilogrammi di prima, affinchè la calamita possa sostenerla; intanto col tempo e con alcune avvertenze si giungerà a rinvigorirla di nuovo e farla tornare alla primiera sua forza.

Quando, invece di calamitare aghi o prismi, si calamitano lamine molto larghe e di poca grossezza, egli è facile di variare in essi in mille guise la distribuzione del magnetismo: prendendo per esempio delle lamine di acciaio di otto in dieci pollici quadrati, e della grossezza di una linea o di mezza linea, e segnando sulla loro superficie alcune figure con una poderosa calamita, si può renderle visibili, spandendo con uno staccio sulla superficie delle lamine della sottile limatura di ferro. Il signor Haldat ha pubblicato un' importante memoria su questo subbietto (*Ann. de Phys. et de Chim. t.* XLII, *pag.* 33).

La figura 256 rappresenta un *sistema di aghi compensati*: questi sono aghi da cucire calamitati, e con i poli opposti; se le due forze contrarie fossero perfettamente eguali, un tal sistema sarebbe *astatico*; ma quando esse sono disuguali, il sistema conserva una forza direttrice, la quale aumenta o diminuisce, secondo l' inclinazione che si dà all' ago obbliquo superiore. La fig. 257 dinota il sistema compensato che si usa ne' moltiplicatori, ne' quali vuol darsi molta sensibilità (ved. *elettro-magnetismo*.) (2)

(1) Da noi più comunemente *ancora*.

(2) Il signor Haldat ha osservato anche un fenomeno che ci sembra degno da notare. Se si prendon de' fili di ferro dolce non ricotti, di un decimetro di lunghezza e di un millimetro di diametro, e si pongano tra i poli contrari di due calamite, poste fra loro a tal distanza da non potere indurre magnetismo ne' fili anzidetti, questi saranno calamitati stropicciandoli fortemente per lo verso della lunghezza con un corpo duro come ottone, rame, zinco, vetro o anche legno. Dal che rendesi aperto che per eccitare il magnetismo nelle grosse verghe sia mestieri stropicciare con forza.

Gli studiosi potranno consultare le memorie del Mariani per acquistare notizie di parecchi fatti, riguardanti le calamite.

Aggiungo qui un fatto da me sperimentato prima insieme col Linari e poi rifermato dal sig. Haldat ed è che il magnetismo si trova concentrato verso la superficie delle calamite artificiali.

SEZIONE SECONDA

DELL' ELETTRICITA'.

CAPO PRIMO.

DELLE AZIONI ELETTRICHE.

189. *Vi sono delle sostanze che stropicciate acquistano la proprietà di attrarre i corpi leggieri.* — È cosa agevole il rendersi certo, che le diverse sostanze prese nello stato naturale, non hanno in verun conto la proprietà di attrarre i pezzettini di foglia d'oro o di canutiglia, nè la segatura di legno, o i tritoli di midollo di sambuco, nè le barbe di piuma, nè i corpi leggieri di qualunque altra natura; ma quando con una stoffa di lana o di seta si strofini un cilindro di vetro, un bastone di solfo o di resina, un pezzetto d'ambra o succino, questi varî corpi tosto acquistano una proprietà notevolissima: essi tirano tutt' i corpi leggieri che si paran loro dinnanzi, e cotesta attrazione è sì vigorosa, che le sottili foglie metalliche, per esempio, sono inalzate all' altezza di oltre un piede e vanno a menarsi sulla superficie del corpo che le attrae (*fig.* 281). Alla cagione di questo fenomeno si è dato il nome di *elettricità* dalla voce greca *ἤλεκτρον*, che significa *ambra*, perciocchè questa proprietà fu da prima da' filosofi greci scoperta nell'anzidetta sostanza (1).

Per distinguere con maggiore certezza i corpi che diventano elettrici con lo stropicciamento, si fa uso di varî strumenti detti generalmente *elettroscopî*, vale a dire strumenti proprî a scoprire l' elettricità.

L' elettroscopio più semplice è il pendolo elettrico, il quale è composto da una piccola pallina di midollo di sambuco, sospesa all' estremo di un filo di seta, o di un sottilissimo filo metallico (*fig* 279). Allorchè si voglia vedere se un corpo abbia elettricità, si accosta alla pallina, e se questa non l' attrae in un modo sensibile, si può esser certo che non abbia elettricità, o più tosto che possa esserne debolissimamente caricato.

L' *ago elettrico* (*fig.* 280) è un elettroscopio un poco più sensibile del pendolo: esso è composto di un filo di rame terminato da due palline metalliche *b* e *b'*, le quali debbono essere vôte affinchè siano più leggiere; nel mezzo della lunghezza del filo sta un cappelletto di agata o di acciaio che si accomoda sul perno. Una debolissima azione elettrica basterà a metter l' ago in moto (2).

L' elettroscopio di Coulomb (*fig.* 282) è lo strumento più sensibile e delicato, per far conoscere la presenza delle forze elettriche. Esso è formato da un filo di bozzolo *f*, da un ago di gomma lacca *gg'*, e da un piccol cerchio di canutiglia *c*. Il filo è raccomandato al verricello *t*, sul quale si avvolge o si svolge quando l' ago deve essere alzato o abbassato. Una gabbia di vetro *vv'* difende l' ago dalle agitazioni dell' aria, essa è corredata di un cerchio graduato *dd'* e di un coverchio *cc'* avente un buco *o*, per lo quale introduconsi gentilmente i corpi elettrizzati, che debbono attrarre l' estremo dell' ago per farlo volgere, purchè non abbian tanta forza da potere operare da fuori, anche a traverso della grossezza del vetro.

Si posson con questo strumento sottoporre all' esperienza tutt' i corpi, per vedere se strofinati abbian la proprietà di diventare elettrici. Piacevoli sogliono l' esperienze riuscire, per la somma varietà di risultamenti che danno; imperciocchè si trova la gomma lacca, la resina, l' ambra, lo zolfo ed il vetro esser de' corpi sommamente elettrici, come anche il diamante, il topazio, lo smeraldo, e la maggior parte delle pietre preziose; la terra cotta, il legno ed il carbone dar rare volte segni di attrazione, ancorchè siano stati stropicciati per lungo tempo ed a più riprese; si vedrà finalmente i metalli insiem con altri corpi non manifestar mai la minima forza attrattiva, sia quale si voglia la cura che si prenda nello stropicciarli. Ecco dunque tutt' i corpi della natura divisi in due grandi classi: in quelli che strofinati manifestano elettricità, che diconsi *idioelettrici*; ed

(1) Sebbène fin da' tempi di Talete si conoscesse il primo fatto, da cui dovea avere incominciamento un vasto ramo di scienza, pure questo fatto restò inosservato per molti secoli, cioè sino alla fine del secolo XVI. Allora Gilbert trovò la proprietà dell' ambra comune a molte altre sostanze; indi Ottone da Guerike, Boyle, Hauxbee ed altri fisici trovarono alcuni altri fatti connessi con quelli dell' attrazione de' corpi leggieri, e così la dottrina dell'elettricismo divenne una parte della fisica, la quale è ormai fatta sì grande da occupare parecchi volumi.

(2) Questo strumento, che fu immaginato e adoperato dal citato medico Gilbert, fu ridotto alla forma descritta dal signor Haüy, ed è conosciuto col nome di *elettroscopio non isolato di Haüy*. V. Haüy *Traité de Physique* t. I.

in quelli che non ne mostrano, i quali diconsi *anelettrici*.

190. *De' corpi conduttori, e de' non conduttori.*— Se i corpi anelettrici strofinati non dan segni di elettricità, possono non pertanto, per altro mezzo, comparire elettrici. Questa scoperta fu fatta dal fisico inglese Gray nel 1727. Avendo costui elettrizzato un cannello di vetro aperto da ambe le parti estreme, volle vedere se lo stesso fenomeno avvenisse, chiudendolo con un turacciolo di sughero; perciocchè in quella stagione la scienza era così mal ferma che in tutto procedevasi a tentone, non si aveva alcuna guida e neanche un sistema. Or facendo Gray l'indicata sperienza, con molta maraviglia si avvide che anche il turacciolo erasi elettrizzato, il che non accade stropicciandolo separatamente. Un filo metallico infisso nel turacciolo anche elettrico divenne, e lo divenne del pari un altro filo più lungo, e l'abile osservatore non rifiniva di ripetere così piacevoli esperienze. Vedendo che stando nel suo gabinetto non potea adattare al turacciolo un filo molto lungo, salì al primo piano, sospese al suo cannello elettrico un filo metallico che scendeva fino a terra, e mentre egli strofinava il cannello, un suo amico presentava all'estremo del filo dei corpicciuoli leggieri, e questi, cosa mirabile! erano fortemente attratti. Fu l'esperienza ripetuta dal secondo e dal terzo appartamento sempre con lo stesso successo. Il metallo dunque ha la proprietà di dar passaggio all'elettricità; e poichè la trasmette istantaneamente, è forza conchiudere essere l'elettricità una specie di *fluido*, che passa dal vetro al metallo spandendosi rapidamente sulla superficie di questo. La stessa proprietà si ravvisa in tutt' i corpi anelettrici, e si esprime col dire che questi corpi sono *conduttori* della elettricità. I corpi idioelettrici al contrario sono *non conduttori*, cioè l'elettricità non si diffonde sulla loro superficie; perciocchè stropicciando un cannello di vetro solo da un estremo, l'altro estremo non darà segno veruno di elettricità.

Questa capitale verità può essere dimostrata con la *macchina elettrica*, che noi considereremo solo come mezzo di avere l'elettricità: si fa comunicare con essa un lungo filo di metallo tenuto da fili di seta, o da colonnette di vetro, e voltando la macchina agevolmente si vedrà: 1° che esso è tutto elettrizzato, sia qualunque la sua lunghezza, e siano quali si vogliano i giri che gli si faccian fare; 2° che se sia interrotto in qualche parte da vetro o da seta, esso non mostra elettricità al di là di questa interruzione; 3° che se tocca il suolo cessa di essere elettrico, perciocchè il suolo è molto buon conduttore, atto a dissipare l'elettricità in tutta la superficie, dalla quale si comunica all'intero edificio, anche al globo terrestre.

Segue da ciò che l'aria sia un corpo non conduttore; perciocchè se fosse conduttore come un metallo, l'elettricità sviluppata per istropicciamento passerebbe dal corpo stropicciato nell'aria circostante, e tosto nella intera massa dell'atmosfera si perderebbe.

L'acqua ed il vapore acqueo son buoni conduttori; un corpo elettrizzato dà tutta la sua elettricità all'acqua in cui s'immerge, o al vapore dell'acqua bollente dal quale si fa circondare. Ecco perchè l'elettricità, che si conserva lungamente nell'aria asciutta, velocemente si sperde nell'atmosfera, quando l'aria è umida.

Il corpo umano è anche un buon conduttore: quando un uomo sta dritto sopra un cattivo conduttore, come sopra una stiacciata di resina, esso elettrizasi interamente toccando con la mano i corpi elettrizzati; e quando tocca il suolo non gli riman nulla della elettricità che dai corpi riceve; egli la trasmette al suolo, in cui si perde. Questa proprietà ci fa intendere perchè i metalli non si elettrizzano, tenendoli con la mano nuda; imperciocchè la loro elettricità deve sperdersi secondo che svolgesi.

I corpi più coibenti diventan molto buoni conduttori quando siano umettati da vapore acqueo: e però giova riscaldare i corpi per asciuttarli pria di essere stropicciati; allora il minimo stropicciamento gli elettrizza, financo la mano bene asciutta: facendo per esempio passar fra le dita un cannello di vetro, un nastro di seta, o una striscia di carta, si darà ad essi una notevole forza elettrica.

La conducibilità elettrica de' varî corpi dipende dunque da una cagione permanente, ch'è la natura della loro sostanza; ma essa dipende anche da parecchie accidentali cagioni, il cui potere è difficile a misurare. Laonde in vece di dire che i corpi son conduttori o non conduttori, è più giusto il dire ch'essi sono buoni o cattivi conduttori; perciocchè non si dà corpo che assolutamente non sia conduttore. I peggiori conduttori sono la gomma-lacca, la seta, il vetro e le resine; e son detti anche corpi *isolanti* (1), perciocchè i

(1) Diconsi anche da noi *coibenti*, ed i conduttori diconsi *deferenti*.

corpi elettrizzati sostenuti da essi son veramente isolati o separati dal suolo, e conservan per lungo tempo la elettricità che hanno. I metalli sono i migliori conduttori che si conoscono: noi vedremo che un filo metallico di parecchie leghe di lunghezza in un momento si elettrizza tutto, allorchè un poco di elettricità sia eccitata o deposta in un solo dei suoi punti. Tra i peggiori e migliori conduttori v' ha l' infinita varietà de' corpi della natura, che han vari gradi di conducibilità.

191. *Due specie di elettricità.* — Un corpo elettrizzato repelle un corpo leggiero cui abbia comunicata parte di sua elettricità. E per fermo, prendiamo un *pendolo isolato* (questo è il pendolo della figura 279, il cui piede è di vetro, ed il filo di sospensione di seta): tosto che noi avviciniamo ad esso un cannello elettrizzato, la palletta di midollo di sambuco sarà fortemente *attratta;* ma venendo a toccare il cannello e starsi alcun poco stretta con esso, la vedi *respinta* a tal distanza per quanto fu quella dalla quale da prima venne attratta. Cotale repulsione della palletta è generata dalla elettricità che essa ha tolta dal cannello; perciocchè toccandola con la mano per ricondurla al suo stato naturale, essa sarà di nuovo attratta, e poi di nuovo respinta poichè ebbe un' altra volta toccato il cannello; ed una pruova più spiccata si ha dal vedere, che in questo caso essa attrae i corpi naturali, o più tosto è attratta da questi, come quella ch' è più facile a muoversi. Questa esperienza può farsi con l' elettroscopio di Coulomb, o con l' *ago isolato* o con una foglia d' oro che si muova nell' aria. In tutt' i casi, ogni corpo elettrico, e sia qualunque, respinge sempre i corpi leggieri che lo abbian toccato.

Ma se prendansi due pendoli isolati (*fig.* 284), l' uno che sia elettrizzato dal vetro e da esso respinto, l' altro elettrizzato dalla resina e similmente respinto da essa, si osserverà il seguente notevole fenomeno: il vetro attrarrà vigorosamente il pendolo elettrizzato dalla resina, ed al contrario; la resina attrarrà egualmente il pendolo elettrizzato dal vetro; si può del pari conoscere che gli stessi due pendoli si attraggono, nell' atto che si respingono a vicenda se son toccati dallo stesso corpo elettrico (*fig.* 283). L' elettricità dunque del vetro e quella della resina son diverse, perciocchè l' una attrae ciò che l' altra respinge.

Queste due elettricità, diverse nella loro origine o ne' loro effetti, diversi nomi meritavano: onde la prima fu detta *elettricità vitrea*, *elettricità resinosa* la seconda.

Noi dunque siam menati alla seguente importante conclusione, cioè che vi son due elettricità, ciascuna delle quali respinge se, attraendo l' altra.

Senza aver fatto saggio sopra gli altri corpi, possiam di già esser certi che la loro elettricità debba essere o resinosa o vitrea, perciocchè se essi operano sopra di un pendolo elettrizzato è forza che lo respingano o che lo attraggano; il che per altro puossi agevolmente sopra ogni corpo verificare. Questa bella scoperta delle due elettricità fu fatta dal fisico francese Dufay nel 1733 (*Mém. de l'Académie des Sciences*, 1733).

Taluni fisici danno all' elettricità vitrea il nome di *elettricità positiva*, e di *elettricità negativa* alla elettricità resinosa. Noi anche talvolta useremo siffatte espressioni, quantunque esse riferiscansi ad una ipotesi con la quale si cerca di dar ragione di tutt' i fenomeni, per mezzo di una sola elettricità, considerandola ora *in eccesso* o *in più*, ora *in difetto* o *in meno* (1).

192 *De' fluidi elettrici e dello stato naturale dei corpi.* — Dalla rapidità con la quale l' elettricità si spande in tutta l' estensione dei corpi conduttori, si è conchiuso essere essa un fluido estremamente mobile; e dalla opposizione che regna tra l' elettricità del vetro e della resina, si è dedotto questo fluido essere doppio, essetvi cioè due fluidi elettrici siccome vi sono due fluidi magnetici. Questi due fluidi tra loro *combinati* per attrazione scambievole, o l' un per l'altro *neutralizzati*, formano *lo stato naturale* dei corpi; ma se vengon *decomposti o separati* da una cagione qualunque, le azioni contrarie che essi esercitano al di fuori, più non possono perfettamente compensarsi, ed il corpo nel quale questa *decomposizione* è avvenuta sarà un corpo elettrizzato: esso sarà *elettrizzato vitreamente*, se predomina il fluido vitreo, e *resinosamente* se invece predomina il fluido resinoso. In quanto alla maniera di esistenza del fluido elettrico nell' interno dei corpi, tutt' i fenomeni sembrano indicarci ch' esso sia sparso negl' intervalli degli atomi ponderabili, e che ivi possa essere di falda in falda decomposto secondo le forze che lo muovono. V' ha però una capital differenza tra il fluido elettrico ed il magnetico: perciocchè questo rinchiuso negli elementi magnetici vi si può muovere, ma non gli è dato mai di uscirne; nell' atto che il fluido elettrico, libero in tutti i corpi, può

(1) V. il Supplimento che segue.

attraversare per ogni parte tutta la estensione della loro massa, può del pari oseirne per diffondersi ed accumularsi sopra i corpi vicini. Questa verità rendesi aperta mercè tutte l' esperienze finora riportate, e la vedrem riformata dall' insieme de' fenomeni elettrici.

Allorchè noi svolgiamo da un corpo, ch'era nello stato naturale, l' elettricità resinosa o vitrea, è mestieri che anche l' elettricità contraria si svolga, se non si voglia supporre che essa sia distrutta dalla cagione che operò la separazione de' fluidi. Or la distruzione di un agente naturale non è meno impossibile di quella della stessa materia, e però possiamo esser certi che l' una elettricità non si svolga mai senza dell' altra. Del resto questa verità può essere dall' esperienza fermata, stropicciando l' un contro l' altro due dischi isolati da manichi di vetro (*fig.* 285): se dopo di averli stropicciati si tengano uniti, non daranno alcun segno di elettricità; ma tosto che saranno separati, non si durerà fatica nel ravvisare che l' uno ha l' elettricità vitrea, l'altro l' elettricità resinosa. Questi dischi possono essere di vetro, di resina, di legno o di metallo, e se l' esperienza si voglia rendere più variata, si posson foderare di pelli, di stoffe, di carta, ec., perciocchè la specie di elettricità dipende solo dalle superficie che si stropicciano.

Un corpo nello stato naturale avendo in egual dose le due elettricità, sembra da prima non esservi ragione alcuna per la quale esso prenda o conservi uno de' fluidi piuttosto che l' altro; e può in fatti prendere con lo stropicciamento ora l' elettricità resinosa ed or la vitrea. Il vetro per esempio prende l' elettricità vitrea se sia strofinato con la lana o con la seta, e l' elettricità resinosa se sia strofinato con una pelle di gatto, di lontra o con alcune altre pelli. V' ha del pari de' corpi i quali fan prendere alla resina l' elettricità vitrea, nell'atto che molti altri le fan prendere l' elettricità resinosa. Per definire dunque rigorosamente ciascuno de' fluidi, conviene dire che il fluido *vitreo* è prodotto dal *vetro strofinato con la lana*, e il *resinoso* dalla *resina strofinata con la pelle di gatto, con la lana* o con la *seta*.

Supponghiamo che si faccia una lista di tutti i corpi disposti in ordine di *tendenze elettriche*; in guisa che ciascuno sia vitreo rispettivamente a quel che segue e resinoso relativamente a quel che precede; si potrà allora conoscere che alcune impercettibili circostanze possono far cambiare il posto ad un corpo nell' anzidetta lista: una elevazione di temperatura, per esempio, lo disporrà a prendere l' elettricità resinosa e lo farà discendere di molti gradi, nell' atto che il raffreddamento lo farà risalire rendendolo più vitreo; una superficie forbita lo farà del pari risalire, nell' atto che una superficie più scabra lo farà discendere. Tutto ciò si può facilmente verificare sopra un tubo di vetro, cui sia tolto con lo smeriglio il pulimento. Il colore, la giacitura delle molecole o delle fibre, il verso per lo quale si stropiccia, ed anche la più o meno gagliarda pressione del corpo col quale si strofina, potranno far nascere simili fenomeni: un nastro di seta nero, per esempio, prende sempre l' elettricità resinosa, quando si stropiccia con un nastro bianco; e se due parti dello stesso nastro si stropicciano in croce, la parte immobile prenderà l' elettricità vitrea, e l' altra la resinosa. Vi sono anche delle sostanze, come il *distene* (1), le quali in certi punti della loro superficie prendono l' elettricità vitrea, ed in certi altri l' elettricità resinosa, senza potervi ravvisare la minima diversità di temperatura o di aspetto. Queste esperienze si posson variare moltissimo con fettucce di lana o di seta, con istrisce di carta, con pezzi di pelli e di corpi conduttori, che si posson molto bene isolare sopra cannoni di penne.

193. *Della comunicazione dell' elettricità* — L' elettricità passa da un corpo all' altro, allorchè questi si toccano, ed anche quando si tengono ad una certa distanza; ma la maniera con la quale passa dipende sempre dalla conducibilità de' corpi e dalla estensione di lor superficie.

Al contatto i corpi che sono i peggiori conduttori non prendono o non perdono elettricità fuori dell' estensione delle superficie toccate; i migliori conduttori la prendono o la perdono in tutta l' estensione di lor superficie; ed i corpi intermedi per la loro conducibilità presentano anche risultamenti intermedi, perciocchè prendono o perdono elettricità in superficie tanto più grandi intorno ai punti di toccamento, per quanto migliori conduttori essi sono.

L' elettricità che si partecipa *a distanza* si spande del pari sopra i corpi in ragione di loro conducibilità, ma presenta nel suo passaggio il piacevole fenomeno della *scintilla e-*

(1) Pietra dura che trovasi d' ordinario sotto forma di prismi compressi, composti di lamine parallele all' asse, detta da Saussure *sapdare*, e *cianite* da Brochant.

lettrica. Non è necessario che un tubo sia fortemente elettrizzato, perchè si abbia alla distanza di un pollice una brillante e luminosa scintilla, avvicinandovi un filo metallico o anche la giuntura di un dito; in pari tempo odesi uno scoppietto che sembra spicciar fuori con la scintilla; appresso vedremo la cagione del rumore e della luce. Quando il corpo elettrizzato è metallico, e di gran superficie, come i conduttori della macchina, la scintilla parte dalla distanza di un piede, la sua luce ha un abbagliante splendore, ed il romore che l' accompagna colpisce l' aria come un colpo di ferza.

Il primo che vide la scintilla elettrica fu Ottone da Guericke, quello stesso che inventò la macchina pneumatica; e più tardi il citato Dufay destò gran maraviglia facendo vedere che dal corpo di un uomo si possono fare uscire delle scintille e delle strisce di fuoco, come dai conduttori della macchina.

Volendone fare l'esperienza, convien salire sopra una stiacciata di resina molto asciutta, o sopra un isolatore che abbia i piedi di vetro, e porsi in comunicazione con la macchina, toccandola con la mano o con un filo o catena metallica: la persona che trovasi in questa positura non riceve alcuna scossa, mentre si volta la macchina per isviluppare elettricità, ma solo sente sulla pelle, e specialmente sul viso, l' impressione di un soffio leggiero; i suoi capelli si rizzano ed escon da essi de' fiocchi luminosi. Avvicinando a questa persona la giuntura di un dito, o qualche corpo conduttore, se ne traggono lunghe scintille e sentesi *una scossa elettrica* che non fa alcun male. Se la scintilla parte dalla distanza di un pollice, sentesi solo una leggera puntura; se da due o tre pollici, la sensazione si estende sino al gomito, e tutto il cubito piegasi con moto involontario ed irresistibile; la scintilla che parte da maggiore distanza, come da sei o da otto pollici, si fa sentire fino al petto, e genera un certo scuotimento in tutto il corpo. Allora è prudenza di non ricevere scintille più forti. Durante questo tempo la persona isolata, e messa in comunicazione con la macchina elettrica, soffre anche presso a poco le stesse scosse della persona vicina che trae le scintille. Sia che il passaggio dell' elettricità fra i corpi buoni conduttori avvenga nel toccarsi, o da una certa distanza, sempre avverrà in ragion delle superficie. Or affinchè un corpo elettrizzato dia tutta la sua elettricità, è mestieri che sia posto in comunicazione con un corpo di superficie grandissima, per esempio con le mura o col pavimento di una casa, perciocchè le mura comunicano anche esse col suolo, ossia con la superficie della terra, la quale chiamasi il *ricettacolo comune*. Una palla di rame in fatti isolata all' estremo di un manico di vetro non tira dal conduttore della macchina se non che debolissime scintille; nell'atto che essa ne trae assai vigorose, e scarica interamente i conduttori, quando trovasi in comunicazione col suolo per mezzo di una catena deferente (*fig.* 310). Da che non siamo bruciati dalla luce elettrica non segue che questa non sia calorico; imperciocchè noi vedremo per mezzo delle seguenti esperienze in molti casi l' elettricità comportarsi come il fuoco, e diventare assai spesso uno de' più poderosi agenti chimici.

Una candela tosto che sia spenta si riaccende immantinente, allorchè una scintilla attraversa il moccolo ancor caldo.

La scintilla può accender l' etere, ed anche l' alcool; questi liquidi si pongono in un piccol vase metallico che si avvicina al corpo elettrizzato, in guisa che la scintilla cada nella superficie di essi: il corpo elettrizzato può essere anche una persona isolata, che comunichi con la macchina.

La pistola del Volta, espressa nella *figura* 286, è un piccol vase metallico, il quale chiudesi con un turacciolo di sughero; un filo di rame terminato da due piccole palline *b*, *b'* passa di dentro in fuori, senza toccare le pareti, essendo perciò incollato con la cera in un tubo di vetro *tt'*; la scintilla che entra per questo filo deve passare dalla pallina *b'* all'opposta parete attraversando il gasse che riempie la pistola. Se questo gasse sia detonante, se sia per esempio un miscuglio d' idrogeno e d' aria, o anche meglio d' idrogeno ed ossigeno, in quella proporzione in cui questi compongon l' acqua, la scintilla cagionerà l'azione chimica, accaderà la detonazione, il turacciolo sarà spinto ad una certa distanza, e si formerà l' acqua.

Gli *eudiometri* ad acqua o a mercurio, dei quali, con moltissimo vantaggio, si fa uso per l' analisi dei gas, son disposti a ricevere la scintilla elettrica, presso a poco come la pistola di Volta. Secondo la natura de' gas contenuti nell' eudiometro, v' è bisogno d' una scintilla più o meno grande per far succedere la combinazione: convien dunque far che la scintilla sormonti uno spazio sufficientemente grande; le piccole bolle devono distare almeno 5 in 6 millimetri. La scintilla si dà con l' elettroforo (198).

SUPPLIMENTO 9°.

Delle ipotesi immaginate per render ragione dei fenomeni elettrici.

I numerosi fenomeni elettrici che si presentarono ai fisici erano come tanti fatti slegati fra loro, per cui tosto cercarono di collegarli insieme, ammettendo qualche ipotesi più o men valevole a render ragione de' medesimi; ma due tra queste meritano di essere considerate come quelle che meglio rendon ragione de' fatti. L'una è quella immaginata primamente da Franklin, seguita poi da Beccaria, da Epino, dal nostro Tiberio Cavallo, e perfezionata da quel sommo ingegno del Volta, la quale fu seguitata generalmente in Italia: l'altra è quella di Symmer, seguita da Coulomb, ed ora quasi esclusivamente in Francia.

Ipotesi di Franklin. — Suppone adunque il Franklin, esservi in tutti i corpi della natura una quantità più o men grande di un fluido imponderabile, mobilissimo dentro diversi corpi, cioè ne'deferenti, chiamato *fluido elettrico* o semplicemente *elettrico*. Trovandosi questo fluido in una certa determinata dose in un corpo, questo non presenterà alcun fenomeno elettrico; ma trovandovisi in copia maggiore o minore, tosto appariranno i fenomeni dell' una o dell' altra elettricità.

Quella determinata quantità di elettrico necessario al corpo perchè stia nello stato naturale, *fluido naturale* del corpo si chiama. Questa potrebbe, a parità di masse, esser diversa secondo la particolar natura de' corpi, e potrebbe per avventura la sua presenza esser cagione di qualche importantissima conosciuta proprietà de' corpi, sebbene niente di certo sen sappia.

Quando i corpi hanno una quantità di elettrico maggiore de fluido naturale, allora diconsi elettrizzati *per eccesso*, o *in più* o *positivamente*: e questa elettricità, positiva nel linguaggio di Franklin, è la vitrea in quello di Symmer. Strofinando per esempio un pezzo di vetro liscio con un panno lano, si suppone da'Frankliniani che una parte del fluido naturale di questo passi nel vetro, ond' è che rimane positivamente elettrico, rimanendo il panno con elettricità negativa; conciossiachè una quantità di elettrico minore della naturale costituisce l' *elettricità negativa*, nell' ipotesi che esponiamo, corrispondente all' elettricità resinosa de' Symmeriani.

L' elettricità resinosa dunque altro non è nella nostra ipotesi che privazione di elettrico, appunto come il freddo non è che la privazione del calorico. È stato mestieri però concedere alcune proprietà primitive al fluido elettrico ed alla materia ponderabile, per potere compiutamente dar ragione de'fenomeni; quali sarebbero, per esempio, 1° la tendenza delle sue parti al vicendevole allontamento, 2° una propensione ad avvicinarsi ai corpi ponderabili che ne sian privi, 3° una eguale propensione di questi verso l' elettrico, 4° una tendenza delle particelle della materia ad allontanarsi, allorchè sian prive di elettrico, ec.

Non possiam per ora mettere in piena luce la facilità con la quale i Frankliniani e particolarmente il Volta danno ragione de'fenomeni elettrici, perciocchè di questi poche cose finora sonosi dette; ma vedremo in alcune note come l' ipotesi nostra non sia men felice di quella di Symmer. Per dare intanto una giusta idea dell' anzidetta ipotesi, applichiamola a qualche fatto conosciuto. Se si stropicciano insieme due corpi coibenti, o uno coibente ed uno deferente isolato, ovvero due conduttori entrambi isolati, si osserva sempre ch' essi prendono elettricità contrarie: or ciò secondo la nostra ipotesi deve avvenire; giacchè se l' uno dei corpi si elettrizza in più, è forza ch' ei prenda una parte del fluido naturale dell' altro, e che questo resti elettrizzato in meno. Il Volta cercò anche di trovare le leggi, secondo le quali i corpi stropicciandosi prendono l' una elettricità piuttosto che l' altra. Così egli trovò che di due idioelettrici dello stesso materia e qualità, stropicciati l'un contro l' altro, il più scabro e il più caldo o quello che soffre maggiore stofinamento *dà*, e l' altro *riceve*. Onde se si stropicciano insieme due nastri di seta uno per lungo l' altro per largo, questo che soffre sempre la confricazione sulle medesime parti diviene negativo e l' altro positivo (1).

Spesso avviene che due conduttori isolati e dotati di elettricità contraria col toccarsi tornino allo stato naturale, e ciò avviene secondo l' ipotesi di Franklin dall' avere uno di essi tanto eccesso di fluido elettrico per quanto è il difetto dell'altro. Che se nei due conduttori diversamente elettrizzati l'eccesso dell'uno non adegui il difetto dell' altro, nella loro unione non presenteranno lo stato naturale, ma l'una o l'altra delle elettricità, quella cioè ch' era la maggiore, e di tanta intensione per quanto era la differenza tra le due.

Ipotesi di Symmer. — Dufay veramente fu il primo a conoscere le due elettricità; ma poi-

(1) Pianciani, Istituzioni fisico-chimiche V. 3.

chè Symmer cercò di render ragione dei fenomeni per mezzo della ipotesi de' due fluidi, perciò comunemente questa ipotesi si è detta Symmeriana. È inutile per noi l'esporre in che essa consista, essendo quella che l'Autore segue, e della quale ha esso innanzi discorso: e dal vedere come egli per mezzo di questa vada rendendo ragione de' fenomeni elettrici, ognuno se ne potrà formare la più compiuta idea.

Della ipotesi che considera le due elettricità siccome forze inerenti alla materia. — Parecchi fisici, tra' quali Oersted (1) e Fusinieri (2), son di parere che i fenomeni elettrici non si debbano attribuire ad alcun fluido particolare, ma ch' essi dipendano dalle sole forze inerenti alla materia pesante, eccitate per mezzo di particolari processi. Ma non essendo stata questa ipotesi ampiamente dichiarata, nè applicata a tutt' i fenomeni dell' elettricismo, non è mestieri d' intrattenerci a discorrerne. Delle altre ipotesi poi, come di quelle di Nollet e di Deluc, sarà pur bene tacere, come quelle che non essendo molto probabili son già volte in obblio.

Ma dirà taluno: non sarebbe meglio star sene ai fatti senza far vani sforzi per legarli ad una ipotesi, non essendovene alcuna veramente ferma e sicura? A chi così pensasse, dice il chiaro professor Belli, io consiglierei di fare una prova del suo pensiero nel trattare anche de' principali fenomeni elettrici. Egli vedrebbe tosto le nozioni de' fenomeni rendersi più oscure, ed i fenomeni stessi slegarsi l' un dall' altro, e non ravvisarsi più le particolarità di uno stesso fenomeno, e rendersi quindi difficilissimo, e forse anche impossibile, non che l'esporre ma anche il bene apprendere la scienza. Tanto è vero che anche nelle scienze fisiche non si può alle volte astenersi dalle ipotesi. Che diremo della filosofia razionale? (3)

CAPO II.

DELLA ELETTRICITA' PER INFLUSSO.

191. *Un corpo elettrizzato decompone da una certa distanza l' elettricità naturale di tutt' i corpi conduttori.* — Abbiamo già veduto come ciascuno de' fluidi elettrici attragga il fluido di nome contrario e repella quello dello stesso nome; cosiffatte attrazioni e repulsioni non solo si mostrano sopra i fluidi liberi già decomposti, ma si esercitano anche sopra i fluidi combinati; onde avviene che un corpo deferente può, senza nulla dare o ricevere, esser posto in uno stato di particolare elettricità, che nasce dalla cagione che opera sul medesimo e finisce con essa. Questa elettricità che si manifesta in un corpo messo ad una certa distanza da un altro corpo elettrizzato, *elettricità per influsso* venne chiamata (4).

Un anello di rame per esempio *nn'* (*fig.* 287), cui, per mezzo di due sottilissimi fili metallici, sian sospese due pallette di midollo di sambuco, sia sostenuto da un bastone o da un uncino di vetro: si presenti questo ad un corpo *r* resinosamente elettrico, e si vedrà che alla distanza di oltre un piede le pallette si allontanano tra loro, fermandosi l'una in *b*, l'altra in *b'*; se il corpo elettrizzato sia più vicino, maggiore sarà la divergenza, senza che la scintilla dal corpo elettrizzato si scagli sull' anello. Le palline dunque *b*, *b'* son cariche della stessa elettricità, ed agevole riesce anche l' assicurarsi che questa sia elettricità resinosa, come quella del corpo *r*, che la induce sopra di esse e sull' anello. Nè poi è da credere esservi tra il corpo *r* e l'anello una comunicazione per mezzo dell' aria; imperciocchè, se l'anello rapidamente o a poco a poco si allontani, si vedrà la divergenza scemare col crescer della distanza, fino a divenir nulla quando la distanza sia molto grande; il che accader non potrebbe se le palline o l' anello avesser ricevuto dal corpo *r* qualunque elettricità. Il fenomeno dunque riducesi tutto tra l' anello, le palline ed i fili metallici. I fluidi naturali di questo sistema di corpi conduttori è dunque decomposto per influsso dal corpo elettrizzato; tutto il fluido vitreo proveniente da questa decomposizione si raccoglie nell' anello dove è ridotto dall' attrazione di *r*, e tutto il fluido resinoso è respinto nelle pallette dalla repulsione. Onde questi due fluidi sono semplicemente *spostati* nel sistema de' conduttori; essi si ricongiungeranno per loro attrazione scambievole, e si ricomporranno, tosto che la distanza del corpo elettrizzato sia grande a segno da non poterli più tenere divisi (5).

Per non rimanere alcun dubbio sopra que-

(1) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, art. *Elektricität.*

(2) Giornale di Fisica di Pavia, an. 1823.

(3) In un recente lavoro di Peltier trovasi sostenuta l'esistenza di una sola elettricità, e questa sarebbe la resinosa; ma di ciò sarà discorso altrove.

(4) Dicesi anche elettricità *attuata*, *indotta* o *accidentale*; V. Volta, Gerbi, Belli, ec.

(5) Nell' ipotesi Frankliniana o Voltaica che dir si voglia si darebbe ragione di questo fatto col dire

sta verità fondamentale, basterà toccar l'anello con un piccol *piano di prova*. *Il piano di pruova* è un piccol disco di cannuccia, il quale è incollato o dalla parte del lembo o dalla parte del centro ad un lungo ago di gomma lacca. Il piano di prova prende l'elettricità del punto che tocca, e se, dopo il contatto, lo si presenta ad un elettroscopio, anticipatamente elettrizzato, è facile riconoscere quale sia l'elettricità della quale si è quel piano caricato. Si dice alcune volte trovarsi un corpo *nella sfera di attività* o *fuori della sfera di attività* di un corpo elettrizzato, secondo che risente o pur no l'influsso di questa: ma giova osservare che queste espressioni, delle quali possiamo valerci, senza inconveniente, rapportansi meno al corpo elettrizzato che a quello che si espone al suo influsso: a tutto rigore la sfera di attività di un corpo elettrizzato estendesi all'infinito, e la distanza alla quale noi possiamo renderne sensibili gli effetti dipende dalla mobilità degli strumenti che noi adoperiamo.

L'esperienza si può anche disporre nel seguente modo: *cc'* (*fig.* 288) è un *eccitatore* (si dà questo nome ad un'asta di rame termita nel modo espresso dalla figura, e per lo più è fatta in guisa che si possa allungare ed accorciare come un cannocchiale): a ciascuno dei suoi estremi si sospende un doppio pendolo fatto con fili di lino o di metallo, e si pone sopra un isolatore *s*; allora si avvicina un corpo elettrizzato *r*, e si vedranno divergere le palline. Se il corpo sia resinosamente elettrizzato, siccome è indicato dalla figura, l'elettricità vitrea si ridurrà nella parte dell'eccitatore più vicina ad *r*, e la resinosa sarà respinta alla parte opposta; il che può verificarsi accostandovi un tubo di vetro elettrizzato o un bastone di resina; ovvero prendendo l'elettricità col piano di prova per riconoscerne la natura. Avverrebbe il contrario se il corpo *r* fosse carico di elettricità vitrea.

Un corpo elettrizzato per influsso opera a sua posta per elettrizzare i corpi vicini che trovansi nella sfera di sua attività, e queste azioni successive possono estendersi a distanze grandissime. Basterà volgere lo sguardo alla figura 290 per vedere la disposizione che si può dare ai conduttori per questo genere di esperienze:

m è un conduttore della macchina,
c' un primo cilindro isolato,
c'' un secondo simile cilindro,
b' una sfera di rame,
e *b''* una piccola pallina di midollo di sambuco.

La divergenza delle palline dinota la presenza dell'elettricità, ed i segni + e — ne indicano la specie.

Allorchè un corpo conduttore abbia una elettricità propria, anche soffre l'influsso di un altro corpo elettrizzato; una sola esperienza può mostrare quanti piacevoli fenomeni posson dipendere da questo principio. Il piccolo anello a pendoli, menzionato nella prima delle antecedenti esperienze, supponiamo che sia resinosamente elettrizzato: se ad esso si presenti un corpo carico anche di elettricità resinosa, la divergenza delle palline si farà maggiore; la sua elettricità resinosa dunque è respinta e ridotta nelle palline dall'elettricità resinosa che opera sopra di esso per influsso, o, se si vuole, le sue elettricità naturali son separate, la resinosa essendo menata verso le palline; ove si unisce all'altra che ivi si trova, nell'atto che la vitrea è richiamata verso l'anello dove neutralizza una egual parte di elettricità resinosa combinandosi con essa. La carica primitiva dell'anello e quella del corpo che ad esso si presenta possono esser tali, che durante l'azione per influsso l'anello si trovi ancora elettrizzato resinosamente, o prenda il suo stato naturale, o anche si mostri carico di elettricità vitrea, il che può rendersi aperto facendo uso del piano di prova.

Questi fenomeni riescono più spiccati allorchè l'anello si carichi di elettricità vitrea: allora sotto l'influsso de' corpi resinosi che gradatamente vi si avvicinino, le palline a poco

che l'elettricità del corpo *r* attrae quella del sistema de' conduttori e la riduce ad accumularsi nell'anello, ond'è che le palline debbon rimanere elettrizzate negativamente, e positivamente l'anello. Così senza supporre due fluidi che si separano ma uno che si muova, agevolissimo riesce d'intendere il fenomeno. È chiaro poi che con l'allontanare il corpo *r*, che nel linguaggio Voltaico direbbesi *attuante*, dal sistema de' conduttori, il fluido naturale di questi non essendo più attratto verso il corpo *r* si diffonderà egualmente in guisa da far ritornare i conduttori medesimi allo stato naturale. Dalla maniera con la quale abbiam veduto potersi render ragione di questo fenomeno d'influsso o d'induzione, si potrà agevolmente intender la maniera con la quale le scuole italiane rendono ragione degli altri fenomeni dello stesso genere. L'elettricità positiva dell'anello si chiamerebbe da alcuni fisici *elettricità indotta*, l'elettrità negativa delle palline si direbbe *attuata* o *di pressione*, ed entrambe queste elettricità si direbbero *accidentali*; e *induzione* poi, *attuazione*, o anche *influsso elettrico*, direbbesi l'azione del corpo *r* sul sistema de' conduttori, i quali sarebber detti *attuati*, ed *r* sarebbe detto *corpo attuante*.

a poco scemano la lor divergenza, giungono a toccarsi, e divergon di nuovo; il che dimostra in modo assai chiaro, che l'elettricità vitrea sia stata a poco a poco tirata verso l'anello, che siavi interamente venuta, e da ultimo che per una minore distanza dal corpo attuante siasi fatta una nuova risoluzione, per la quale il fluido resinoso sia stato spinto nelle palline facendole nuovamente divergere.

195. *I corpi elettrizzati per influsso tornano allo stato primiero, quando l'influsso finisce.* — Poichè la decomposizione per influsso è istantanea ne' corpi conduttori, dovrà esserlo anche la ricomposizione, tosto che si toglie la causa decomponente.

Or questa si può generalmente togliere in due maniere: o gradatamente, estraendo dai corpi elettrizzati delle piccole scintille con un corpo isolato, o allontanando il conduttore che riceve l'influsso di questi; o rapidamente, tirando dal corpo elettrizzato una scintilla che lo scarichi interamente, nel caso che anche esso sia un conduttore.

Nel primo caso la ricomposizione è lenta siccome la diminuzione della forza, e si conosce dal vedere gradatamente diminuire la divergenza delle palline. Nel secondo caso le due elettricità separate per influsso, interamente si riuniscono per la loro attrazione scambievole, siccome indica lo improvviso avvicinarsi delle palline.

In questi fenomeni nè l'uno nè l'altro dei fluidi esce dalla massa sottoposta all'influsso elettrico, ma soffrono entrambi un moto di trasferimento nella massa medesima tanto nel separarsi quanto nel riunirsi; e questi rapidi moti dell'elettrico generano nelle molecole ponderabili degli scuotimenti meccanici o degli effetti chimici notevolissimi.

Una rana, per esempio, preparata e disposta come vedesi nella figura 289, sembra non soffrire alcuna alterazione, allorchè si volge lentamente la macchina che carica il conduttore *c* di elettricità vitrea: frattanto la sua elettricità naturale è decomposta per influsso, essendo la resinosa recata in *r*, e la vitrea respinta nel suolo per mezzo del filo *s*, e tosto che si estrae dal conduttore una scintilla, la subita ricomposizione dell'elettricità della rana genera in tutto il suo corpo un moto convulsivo che la fa saltare, quasi si spingesse per un moto volontario; il che è una pruova assai luminosa, che nel ritorno allo stato naturale le molecole de' corpi sono agitate da' fluidi che si urtano per riunirsi. Le scosse di questo genere diconsi *contraccolpi*. L'esperienza sarebbe tentata invano sopra una rana morta da cinque o sei ore; ma riesce assai bene sopra una rana di fresco uccisa e scorticata; ed anche meglio sopra una rana viva tal quale esce dall'acqua.

Innanzi ad una poderosa macchina elettrica anche un uomo che comunichi col suolo soffrirebbe simili scosse, siccome puossi sperimentare, facendo uso di un conduttore di molta superficie; due persone che sian verso i due estremi di questo conduttore non sentiranno alcuna sensibile impressione nel tempo che esso si carica; ma se una delle due si avvicinasse fino al punto da riceverne la scintilla, l'altra tosto sentirebbe ben forte il contraccolpo, senza vedere balenare alcuna scintilla tra questa persona ed il conduttore.

Quando ci faremo ad esaminare gli effetti del fulmine, vedremo una nube procellosa potersi comportare in una maniera consimile e fulminare nello stesso tempo per lo *colpo diretto* e per *contraccolpo* (1).

Quando il corpo conduttore che riceve l'influsso elettrico non ha diretta comunicazione col suolo, si può fare in modo ch' esso perda a poco a poco quella delle due elettricità ch' è respinta, e che, tolta la cagione generatrice della decomposizione, perda ad un tratto per una sola scintilla l'altra elettricità ch' è accumulata sulla sua superficie. E questo si verifica con una pistola di Volta posta innanzi ai conduttori della macchina.

196. *Toccando i corpi conduttori mentre son sottoposti all'influsso se ne può trarre l'una o l'altra elettricità: ma non si posson caricare che di una sola, mettendoli in comunicazione col ricettacolo universale.* Riprendiamo uno de' cilindri isolati della figura 290, e supponghiamo che le sue elettricità naturali siano decomposte per l'influsso della macchina: il suo fluido resinoso essendo attratto verso *r*, ed il vitreo respinto verso *v*, *la linea neutra nn'* segnerà sulla superficie di questo cilindro i punti che separano i due fluidi contrari. Se in questo stato si tocchi il cilindro con un piano di prova, si avrà l'elettricità resinosa nella parte *nr*, e la vitrea nella parte *nv*, nella linea neutra poi *nn'* non si avrà alcuna sensibile elettricità. Ma se invece di toccare il cilindro con un piccolissimo piano di prova, si faccia comunicare col ricettacolo comune, si avranno risultamenti del tutto diversi; se esso co-

(1) Non mai però, secondo avverte il professore Belli, potrà un uomo morire per un fulmine di contraccolpo, sebbene lo affermi il signor Haüy.

municherà col suolo con un punto della parte *nr*, tutto il fluido vitreo si sperderà nel ricettacolo universale, e tutto il fluido resinoso sarà trattenuto dall'attrazione del fluido vitreo della macchina: che se comunichi col suolo con un punto della parte *nr*, anche il fluido vitreo si sperderà restando il resinoso.

Questo notevole fenomeno si può facilmente verificare, e se ne può anche agevolmente render ragione: imperciocchè il filo metallico che pone il cilindro in comunicazione col suolo; soffre anche esso la decomposizione per influsso, onde il suo fluido vitreo è spinto nel suolo, ed il resinoso essendo attratto passa sul cilindro e neutralizza col diffondervisi tutto il fluido vitreo che vi trova; anche lo stesso avverrebbe nel caso che il cilindro comunicasse col suolo prima d'esser sottoposto all'influssó de' conduttori della macchina (1).

Or se toccando la parte *nr* col piano di prova che è piccolissimo se ne ha l'elettricità resinosa, e se toccandolo col suolo ch'è molto grande se ne ha la vitrea, è mestieri conchiudere darsi dei corpi isolati di una certa grandezza i quali non potrebber tirare nè l'uno nè l'altro de' due fluidi.

Questa conseguenza è importante, e noi la rechiam qui per far conoscere anticipatamente come nella decomposizione per influsso il luogo e la forma della linea neutra dipendono da una moltitudine di cagioni, e come nel toccarsi de' corpi elettrizzati si debbon generare intrigatissimi fenomeni.

197. *Elettroscopi*. — Abbiam già fatto conoscere il pendolo elettrico, l'ago elettrico e l'elettroscopio di Coulomb; ma i fenomeni dell'influsso elettrico han dato occasione di fare,inventare altri elettroscopi, i quali conservano meglio l'elettricità che ad essi si fa prendere, e che sono più acconci a dare con approssimazione una idea delle forze elettriche che operano in essi. Tutti questi strumenti si compongono essenzialmente di un *vase di vetro*, di un *conduttore fisso* e di un *conduttore mobile*.

Il *vase di vetro* ha la forma di una campana, o di una boccetta: l'orifizio superiore è stretto, ed il fondo può essere di vetro (*fig.* 292); ma più spesso è di metallo (*fig.* 291), ed allora esso tiene due palline di rame,ovvero comunica con due piccole lamine di stagno *ee'*, le quali sono verticalmente incollate sulle interne pareti della campana.

Il *conduttore fisso* è una piccola lamina metallica, la quale dalla parte di sopra termina a sfera (*fig.* 291) o ad anello (*fig.* 292): essa è incollata con gomma lacca nel collo del vase, e per maggiore cautela la superficie esterna del vetro è inverniciata fino ad un certo termine *vv'*.

Il *conduttore mobile* è sospeso all'estremo inferiore del conduttore fisso, e dalla natura di questo conduttore mobile dipende il nome dell'elettroscopio: nell'*elettroscopio a pagliuzze* esso è composto di due leggieri fili di paglia, i quali sospendonsi al conduttore fisso con piccoli anelli di sottilissimo filo metallico; nell'*elettroscopio a foglie d'oro* esso è formato da due laminette d'oro, le quali s'incollano con semplice soprapponimento sull'estremo del conduttore fisso appositamente assottigliato (*fig.* 292); nell'*elettroscopio a palline di midollo di sambuco* il conduttore mobile è composto di due sottilissimi fili metallici, i quali si uniscono al conduttore fisso come le pagliuzze, ed hanno agli estremi inferiori due piccole palline di midollo di sambuco *b,b'* (*fig.* 291). Cotesti conduttori mobili nella loro maggiore divergenza vanno a toccar le sfere o le lamine di stagno, scaricandosi così della loro elettricità; perciocchè se essi andassero a toccare la superficie del vetro si resterebbero uniti e le comunicherebbero una elettricità,che potrebbe per lungo tempo alterare i risultamenti dell'esperienza.

L'esperienze delle quali abbiamo antecedentemente parlato, bastano a farci conoscere l'uso degli elettroscopi.

Se si vorrà semplicemente conoscere l'esistenza dell'elettricità in un corpo, basterà avvicinarlo a poco a poco al conduttore fisso dell'elettroscopio, ed osservare la divergenza ognor crescente de' conduttori mobili. Di due corpi della stessa forma posti alla stessa distanza dall'elettroscopio, quello che farà nascere minor divergenza avrà come è chiaro forza minore; ma le intensioni non saranno proporzionali agli angoli di divergenza, imperciocchè seguono una legge molto più intrigata (2).

Volendosi poi conoscere la specie di elettricità di un corpo, converrà innanzi tratto dare all'elettroscopio una elettricità conosciuta, il che si fa nel seguente modo. Si avvicina

(1) Non riesce meno agevole il render ragione di questo fatto nella ipotesi Frankliniana o Voltaica, supponendo semplicemente che una parte del fluido naturale del conduttore discenda nel ricettacolo universale, perciocchè allora è chiaro dover quello rimanere negativamente elettr co.

(2) V. Belli *Corso element. di Fisica sper.* vol 3°.

un corpo elettrico al conduttore fisso dell' elettroscopio, e nello stesso tempo se ne tocca col dito l' estremo superiore; il fluido *respinto* passa nel suolo, e ritirando tosto il dito e poi il corpo elettrizzato, l' elettroscopio resta carico del fluido *contrario*, vale a dire di elettricità opposta a quella del corpo ad esso avvicinato (1). In questo stato ogni corpo che avvicinato fa crescere la divergenza, avrà la stessa elettricità dell' elettroscopio; ma non può dirsi vero l' opposto, perciocchè ogni corpo che fa scemare la divergenza non è necessario che sia carico di elettricità opposta a quella dell' elettroscopio; dappoichè i corpi conduttori presi nel loro stato naturale debbono anche essi produrre quest' effetto sopra i conduttori mobili, essendo la loro elettricità naturale decomposta per l' influsso che soffrono.

Laonde l' aumento di divergenza è un segno sicuro; nell' atto che la diminuzione è una prova mal ferma, tranne il caso in cui questa diminuzione non sia grandissima, e che il corpo che la fa nascere essendo avvicinato di più sia capace di dar luogo ad una divergenza contraria, dopo di aver fatto interamente abbassare i conduttori mobili dell' elettroscopio.

Quando l' aria è umida, l' elettricità rapidamente si sperde; ed allora impossibile riuscirebbe di fare esperienze comparative con gli elettroscopi, senza procurar prima di renler asciutta l' aria contenuta dentro di essi, con alcuni pezzetti di muriato di calce: e gioverà anche asciugar l' aria circostante a' medesimi ponendoli in un recipiente, nel cui fondo vi sian de' corpi atti ad assorbire l' umido.

198. *Elettroforo.* — Questo strumento immaginato da Volta dipende anche dall' elettricità per influsso: esso è composto di una stiacciata di resina *g* (*fig.*293), di un piano *p*, cui è adattato un manico isolante *m*. La resina è colata in una forma di legno o di metallo, e convien che abbia la superficie di sopra sensibilmente piana; il piatto è di rame con l' orlo ritondato, o anche il legno rivestito di stagno; il suo diametro è minore per uno o due pollici di quello della stiacciata. Dopo aver elettrizzato tutta la superficie della resina battendola con una pelle di gatto, si pone sopra di esso il piatto, prendendolo per il suo manico coibente, e col dito se ne estrae una scintilla; questa è l' elettricità resinosa che passa nel suolo. Indi alzando il piatto si troverà poderosamente carico di elettricità vitrea. Si può ripetere l' esperienza per molte centinaja di volte di seguito, senza che sia d' uopo elettrizzare nuovamente la stiacciata per mezzo della pelle di gatto. L' elettricità della resina operando per influsso sulla elettricità naturale del piatto attraverso del sottilissimo strato d' aria che ne la separa, vi produce una grande decomposizione, e l' elettricità vitrea ch' essa attrae non può accumularsi in un punto per vincere la resistenza dell' aria. Il solo elettroforo vale per una macchina elettrica.

199. *Macchina elettrica.* — Le macchine elettriche son composte da due corpi l' uno dei quali deve strofinare l' altro, e da un conduttore isolato.

Il corpo che deve strofinare è un cuscino elastico pieno di crini, dalla parte dello strofinio spalmato di *amalgama* o di *oro musivo* (deulosolfuro di stagno) (2).

Il corpo strofinato è un cilindro o un disco di vetro.

Il conduttore isolato generalmente è un sistema di cilindri di ottone vuoti, terminati da superficie sferiche o ritondate, e sostenuti da colonne di cristallo inverniciate di gomma lacca.

Indicheremo le varie disposizioni di queste parti più comunemente in uso.

Macchina comune (*fig.* 307) Il disco di vetro *a*, il cui diametro può variare da 20 a 60 pollici, ha nel mezzo un buco, pel quale passa l' asse del manubrio *b*. La madrevite *c* è ordinata a tener fermo il disco nel suo asse. Il castelletto (*montant*) *d* (*fig.* 308) serve egualmente a sostenere il disco e le due paja di cuscini *e* ed *e'*, i quali stropicciano il disco dall' una e dall' altra parte dalla circonferenza

(1) L' elettricità che nell' elettroscopio si appalesa, allorchè ad esso si avvicina un corpo elettrizzato, è elettricità attuata, omologa perciò a quella del corpo attuante, onde scaricando l' elettroscopio di questa elettricità accidentale, deve rimaner carico di elettricità propria, contraria a quella del corpo attuante. Il che meglio s' intenderà da alcune dottrine che saranno esposte nelle note al cap. IV.

(2) L' amalgama si suol fare di mercurio, stagno e zinco. Il P. Pianciani suggerisce di scaldare sette parti di mercurio fino a 100° C., versarle in un recipiente di legno, aggiungere due parti di stagno e quattro di zinco fuso, chiudere il recipiente ed agitarlo forte perchè si mescolino bene, e poi pestare l' amalgama quando è raffreddata per ridurla in sottilissima polvere, alla quale poscia si unisce tanto strutto per quanto sia sufficiente a farne una pasta (*Instituzioni fisico-chimiche t. 5.*). L' oro musivo però, del quale io soglio fare uso, conserva meglio i cuscini, i quali restano sporcati dallo strutto adoperando l' amalgama.

fin verso la terza parte o la metà del raggio (*fig.* 307).

Il conduttore *fgf'* isolato sulle colonne *h* finisce in due *ganasce i*, le quali afferrano l'orlo del disco verso gli estremi del suo diametro orizzontale (1).

Per mettere in opera la macchina, si asciugano le colonne *h* ed il disco *a* con carboni accesi messi in apposito braciere; o stropicciandole con carta sugante asciutta e molto calda; i cuscini si ascingano o accostandoli al fuoco o l'un l'altro stropicciandoli dopo d'averli spalmati con oro musivo, indi si mettono al loro posto e vi si accomodano le coverture di taffettà (*fig.* 309); indi si fanno comunicare i cuscini col suolo per mezzo di una catena metallica, e dopo non resta che a voltare il manubrio *m* perchè i conduttori si carichino di elettricità (2).

E per fermo l'elettricità vitrea, che per lo stroppicciamento sviluppasi sul disco, opera per influsso per scomporre l'elettricità naturale del conduttore, e specialmente quella delle ganasce *i*; essa respinge la vitrea che si spande sopra tutta la superficie de' conduttori, ed attrae la resinosa, la quale passa dallo ganasce al disco, per farlo tornare allo stato naturale, o almeno per neutralizzare più o men compiutamente l'elettricità vitrea della quale è carico.

L'elettricità resinosa de' cuscini scende liberamente al suolo; perciocchè se i cuscini fosser carichi d'elettricità resinosa, meno elettricità vitrea svolgerebber sul disco.

Si adoperano tal volta dei *conduttori secondari* (che son dei cilindri di ottone o di latta, sospesi al cielo della camera con cordoni di seta) i quali si pongono in comunicazione con quelli della macchina; e poichè allora tutto il sistema si carica d'elettricità, estrar se ne possono più poderose scintille.

Macchina di Van-Marum. — Questa macchina significata dalla figura 310 differisce dalla macchina precedente, perchè può a piacimento raccorre l'elettricità resinosa o la vitrea, cioè quella de' cuscini o quella del disco. Le due paja di cuscini allora son disposte nella direzione del diametro orizzontale, fermate sopra gli emisferi di ottone *z* e *z'*; vi son poi due archi mobili *x x'* ed *y y'*, i quali è mestieri che stian sempre in due piani perpendicolari. Quando l'arco *x x'* è verticale, *y y'* è orizzontale, questo comunica co' cuscini e fa passar la loro elettricità nel suolo; nell'atto che l'arco *x x'* ed il globo *g* si caricano d'elettricità vitrea: al contrario quando *x x'* è orizzontale, *y y'* è verticale, esso allora comunica col disco e lo fa tornare allo stato naturale, nell'atto che *x x'* raccoglie l'elettricità de' cuscini, che si spande sul globo *g* e sugli emisferi *z*, *z'*.

Macchina di Nairne. — Questa macchina, dinotata dalla figura 311, è anche valevole a dare le due elettricità, ma essa le dà simultaneamente sopra due diversi conduttori *e* ed *r*: qui il corpo strofinato è un gran cilindro di vetro *a*, mobile intorno del suo asse orizzontale *b*, e stropicciato da un sol cuscino *e* posto per lungo: vi si può anche adattare una covertura, cioè un pezzo di taffettà, il quale impedisce il contatto dell'aria sempre più o meno umida che si trova nel luogo dove sta la macchina (3).

200. *Esperienze diverse.* — Innanzi al con-

(1) Le due ganasce o mascelle (*machoirs*) son formate da un doppio pettine le cui punte restano per pochi millimetri discosta dal disco.

(2) Si suole alle volte, dice Gehler, far discendere il filo metallico, che parte dai cuscini, fino alla perenne umidità sotterranea. Ed il prof. Belli citando Gehler loda questa costumanza.

(3) Per farsi una giusta idea di questa ingegnosissima macchina si osservi la figura 1, Tav. agg., dove la macchina si vede guardata da sopra; *aa* è un cuscino unito al conduttore N; *bb* son le punte delle quali è armato il conduttore P. È chiaro che se il conduttore P comunica col suolo, l'altro N si caricherà di elettricità negativa: se poi questo si farà comunicare col suolo, il primo P si caricherà di elettricità positiva. E stando entrambi isolati, avranno elettricità contrarie, P la positiva ed N la negativa.

La prima macchina elettrica inventata da Ottone da Guerike fu fatta con un globo di zolfo che si strofinava con la mano: poi Hauxbee vi sostituì un globo di vetro. Nairne secondo Priestley, e Martino Planta secondo Gehler (*Phys. Vort.* art. *Elektrismaschine*), sono reputati inventori della macchina a disco. I globi ed i cilindri che furono anche adoperati presentano tra gli altri inconvenienti quello di rompersi facilmente, forse per la diversa temperatura che prendono le loro parti con lo strofinio.

Si sogliono fare anche delle macchine a doppio disco, e nella collezione del cav. Vivenzio ve n'ha una fatta in Londra. A doppio disco è anche fatta la grandiosa macchina esistente nel Gabinetto fisico di Teyler ad Harlem. Ogni disco di questa macchina ha il diametro di 65 pollici inglesi, ossia 61 parigini. Ne' tempi asciutti escono da' conduttori di questa magnifica macchina 300 scintille in un minuto ognuna della lunghezza di 24 pollici inglesi (22 1/2 parigini) grosse quanto il tubo di una penna da scrivere. I giornali han parlato anche di un' altra macchina non ha guari fabbricata in Londra la quale avrebbe il disco di 2^m, 33 di diametro, e sarebbe mossa da una macchina a vapore.

Sonosi immaginate ed eseguite molte altre ma-

duttore *c* della macchina sta un campanello *t* che communica col suolo, ed un pendolo isolato (*fig.* 294); il conduttore carico di elettricità vitrea attrae da prima il pendolo, lo carica di sua elettricità, e quindi lo respinge; il campanello al contrario essendo per l' influsso del conduttore elettrizzato resinosamente, attrae il pendolo quando il conduttore lo respinge, e lo scarica della sua elettricità vitrea dandogli la resinosa, respingendolo verso il conduttore che a sua posta lo attrae. Quindi si hanno le rapide vibrazioni del pendolo, le quali durano fintantochè si dà moto alla macchina per elettrizzare i conduttori.

Invece del campanello si può prendere una palletta metallica, e invece del pendolo un ragnatelo fatto di sughero alquanto bruciato alla sua superficie e sospeso ad un fil di seta; a cagione dell' imperfetta conducibilità del sughero i piedi del ragnatelo sembrano afferrarsi per qualche tempo al corpo elettrizzato ch' essi toccano (*fig.* 295) (1).

Una foglia d' oro battuto si ponga per alcuni pollici al disotto del conduttore della macchina, sopra di un piccol disco metallico che comunichi col suolo; essa sarà alternativamente attratta e respinta, e compirà una serie di vibrazioni analoghe a quelle del pendolo: in questa guisa si fa la danza elettrica, disponendo de' piccoli fantocci di sughero variamente ornati tra due dischi di metallo distanti fra loro, di 3 in 6 pollici, l'uno de' quali comunica col suolo e l' altro col conduttore della macchina (2).

Questa esperienza, che sembra solo uno scherzo da fanciulli, suggerì al Volta un' ingegnosa idea per rendere ragione della grandine. Noi torneremo sopra questo argomento nella meteorologia; ma possiam per ora indicare l' esperienza con la quale imitava il Volta i varî moti che la grossa gragnuola compie tra le nubi prima di cadere spessa sulla terra: *c* (*fig.* 296) è una grossa campana di vetro il cui fondo è di metallo e comunica col suolo; il disco superiore *p* commmica con la macchina e tosto che l' anzidetto disco si elettrizza, le pallette di midollo di sambuco che giaceon tranquille sul fondo s' inalzano, toccano il disco, cadono ed ascendono di nuovo, e mentre esse compiono questi moti alternativi, si urtano in mille guise e ci danno un' idea di quel romoreggiare o di quello strepito che odesi tra le nubi, poco prima del cadere della grandine (3).

200 *bis*. Le figure 346, 345 e 344 rappresentano la macchina *idro-elettrica* di Armstong, nella quale l'elettricità è generata pure dall' attrito, ma da quello d' un getto di vapore ad alta pressione. Cotesta novella macchina si compone: 1° d' una caldaja a vapore *a*, isolata (*fig.* 346); d' una scatola refrigerante *b*; di tre becchi di sgorgo *c*, e d' un conduttore *d*.

La caldaja ha una lunghezza di circa 8 decimetri ed un diametro di 4 decimetri: il suo focolare è interno, ed *f* n' è lo sportello e *g* il cammino; si è solito riscaldarla con i carboni di legno; e trovasi isolata su quattro colonne di vetro *v*, impiantate sopra un telajo a ruotelle *u*; *s* è la valvola di sicurezza; *r* la chiave per dare uscita al vapore, e porre l'apparecchio in istato d'esperienza; quando quella chiave si apre, il vapore passa prima nel grosso tubo *t*, e da quivi si distribuisce in tre piccoli tubi, i quali attraversano in linea retta la scatola refrigerante, e giunge al foro di uscita, in cui ciascun tubo è terminato.

La scatola refrigerante *b* contiene a qua alla temperatura ordinaria; ma il suo livello non è talmente elevato da giungere sino ai tubi a vapore; dei lucignoli di cotone, posti su questi tubi, e i cui estremi pescano nell'acqua della scatola son quelli che bagnandosi per la capillarità apportano il raffreddamento, ad un certo grado, così ai tubi come al vapore che passa per essi. I vapori che formansi nella scatola vanno al cammino attraversando il tubo *g'*.

Il becco di uscita del vapore è il pezzo essenziale, e dalla sua costruzione dipende il potere elettrico della macchina; dopo varii tentativi, Armstrong si è attenuto a quello rappresen-

niere di macchine elettriche delle quali non istarò qui a dare le descrizioni: potranno coloro che bramassero più estese notizie intorno a questo argomento consultare Belli, Pianciani, Gehler, Poggendorff, *Annalen der Physik und Chemie*, 1834, ec.

(1) I piedi di questo ragnatelo o ragno elettrico che dir si voglia si fanno di fili di lino.

(2) I fantocci si possono anche fare di midollo di sambuco e sono più leggieri.

(3) Non vo lasciare di riferire qui un' altra piacevole esperienza: se prendasi un vasellino il quale abbia de' forellini capillari pe' quali l' acqua esca appena a goccia a goccia, appendendo questo vasellino al conduttore della macchina ed elettrizzandolo si vedrà l' acqua uscire con getti continuati, il che potrebbe dipendere dalla pressione dell' aria scemata verso le punte de' tubolini capillari. Secondo l' esperienze di Carmoy la portata di questi tubolini non sarebbe affatto aumentata; il che pare difficile a spiegare, se pur trattandosi di picciolissima quantità di acqua non siasi bene posto mente alla tenuissima differenza.

tato dalle figure 344 e 345. Presso agli estremi, il tubo si allarga a guisa di cono, ed in questo s' introduce il pezzo rappresentato in prospettiva dalla fig. 344, ed in sezione dalla fig. 345; quest' ultimo pezzo, a rigore parlando, è il tubo di uscita; e si compone d' un tronco di cono in legno di pernice (1) *f'*, la cui base minore si congiunge al pezzo *m* di metallo. Il vapore, giungendo direttamente contro il metallo, s' inflette; esso è costretto ad introdursi nella fenditura, ove nuovamente s' inflette per passar quindi nell' orifizio convenientemente grande, che si trova nell' asse del tronco di cono di legno di pernice; l' anello a vite *n* serve a ritenere fermamente il becco d' uscita.

Nel passare il vapore a traverso la scatola *b*, il raffreddamento ha prodotto talune fine gocce d'acqua che son trasportate dallo stesso vapore, e pare indubitato, secondo le sperienze di Faraday, che sia l'attrito di queste gocce contro il legno di pernice quello che genera l' elettricità. Laonde le gocce costituiscono il corpo strofinante, le pareti del becco il corpo strofinato, ed il vapore altro non è se non l'agente o il motore d' un rapido fregamento.

Il conduttore *d* à la forma rappresentata dalla figura; esso prende l' elettricità del vapore, ed è esso pure isolato; dalla piccola palla *k* si scocca la scintilla. Con le dimensioni qui innanzi indicate, l' apparecchio, come si dice, genera tanta elettricità per quanto potrebbero generarne tre macchine ordinarie, che avessero i dischi d' un metro, e mossi con la velocità d' un giro per secondo.

Si vede ancora un altro tubo di uscita *xy*, il quale è destinato ad introdurre diverse sostanze polverulente sulla via che percorre il vapore, a fine di studiare la loro influenza sulla natura e sulla qualità dell' elettricità generata.

CAPO III.

DELLE FORZE ELETTRICHE.

201. *Le attrazioni e le repulsioni elettriche sono fra loro in ragion diretta delle quantità di fluido ed inversa de' quadrati delle distanze.* — Questa legge fondamentale delle attrazioni elettriche, del pari che quella delle azioni magnetiche, fu scoverta da Coulomb quasi nello stesso modo, cioè egli pervenne a dimostrarla adoperando la bilancia di torsione ed osservando le vibrazioni di un piccolo ago. La bilancia elettrica è poco diversa dalla magnetica, nella fabbrica di questa è forza evitare con ogni diligenza l' uso de' corpi ferrugginosi; nella formazion di quella è mestieri il non adoperare corpi conduttori. Essa va fatta nel seguente modo: Sopra una tavola di legno secchissimo si dispongon 4 grandi lastre di vetro quadrate di 30 in 40 pollici di lato (*fig.* 297); i loro orli verticali son lavorati in guisa che si congiungono perfettamente, e poi s' incollano affinchè l' aria non trovi adito alcuno. Una quinta lastra alquanto più grande si pone sulle prime per chiudere lo strumento: essa ha due buchi circolari, l' uno al centro sul quale ergesi un tubo di vetro *t* alto 12 in 15 pollici e del diametro di 2 o 3, e l' altro di lato per lo quale introduconsi i corpi elettrizzati. Al di sopra del tubo di vetro sta un micrometro simile a quello della bilancia magnetica; il filo di rame o di argento, il quale è raccomandato al verricello del mircometro, tien sospeso dalla parte inferiore un leggiero ago di gomma lacca assai bene equilibrato, e terminato da una piccola pallina di midollo di sambuco o da un disco di canutiglia del diametro di 6 in 8 linee. Verso il mezzo dell' altezza della gabbia intorno alla medesima sta incollata una strisciolina di carta sulla quale son segnati i gradi; il filo di torsione deve sempre, siccome altrove avvertimmo, passar per lo centro di queste divisioni. Nel fondo della bilancia entro di una coppa si pone del muriato di calce, affinchè assorba tutto l'umido dell' aria.

Per determinare con questo strumento la legge delle repulsiorn elettriche, si elettrizza da prima la pallina dell' ago sospeso; e poi all' estremo di un tubo di vetro o di un filo di seta vestito di gomma lacca si pone una pallina che si carica della stessa elettricità; indi si fa scendere nella bilancia, badando di tenerla per quanto è possibile sulla circonferenza che la pallina mobile può descrivere nel suo moto di rotazione. Queste due palline repellonsi come i due poli magnetici dello stesso nome, e l' esperienza si compie nella stessa guisa. Dando alle palline elettricità contrarie; si conoscerà del pari la legge delle attrazioni magnetiche.

Per dimostrare che le attrazioni e repulsioni sono in ragion diretta delle quantità di elettrico, convien tenersi a questo principio per se stesso evidente, cioè che due sfere conduttrici dello stesso raggio le quali si toccano, si dividono egualmente l' elettricità che hanno. Laonde dopo di aver osservato la forza di torsione che fa equilibrio all' azione attrattiva o repulsiva delle due palline, da una distanza conosciuta, se una di esse si tocchi con una ter-

(1) *Heisteria coccinea* Lin. albero della Martinicca.

za pallina isolata che le sia perfettamente eguale, si torrà da essa la metà del suo elettricismo, e si vedrà che alla stessa distanza la forza di torsione trovasi ridotta alla metà. E togliendo una seconda volta con lo stesso mezzo la metà del fluido rimasto sopra l'una o l'altra del palline, si vedrà la forza ridursi di nuovo alla metà di quel che era; e se ad un tempo si prendesse la metà del fluido che trovasi sopra ciascuna pallina, la forza si vedrebbe tosto ridotta alla quarta parte.

Coulomb ha anche renduto aperta la legge medesima con pari precisione, facendo vibrare innanzi ad un globo elettrizzato un piccol ago di gomma lacca sospeso con un filo di seta, ed avente da un suo estremo un disco di canutiglia ordinato a ricever l'uno o l'altro fluido. Questo strumento rendesi perfettamente simile a quello da noi descritto per lo magnetismo; se non che la reazione elettrica che opera in questo caso sopra il globo ed il disco, è la sola cagione delle vibrazioni; donde segue per cariche o per distanze diverse le intensioni delle forze son tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni che l'ago compie nello stesso tempo.

202. *Della perdita dell'elettricità per l'aria e pe' sostegni.* — L'elettricità de' corpi col tempo si perde: essa si perde nell'aria, o scende nel ricettacolo comune, ed è questo un fatto fermato da tutte l'esperienze elettriche. Non potendo impedire questa dispersione, ci è forza adoperarci a renderla più lenta, più regolare e più misurabile: senza di tutto ciò sarebbe impossibile ogni paragone tra le forze, imperciocchè esse varierebbero ad ogni istante irregolarmente e secondo leggi sconosciute.

La perdita pe' sostegni isolanti si fa in parte attraverso della loro sostanza, ed in parte sul sottile appannamento umido di cui essi molto spesso si coprono. Quest' ultima cagione opera moltissimo sul vetro e sulla seta, che avidamente traggono a se i vapori. Per il che è sempre necessario di covrire la superficie di questi corpi con gomma lacca, o immergendoli nella gomma lacca liquefatta, o dando ad essi alcune mani di una vernice fatta di questa sostanza: in tal guisa i sostegni di vetro o di seta, e quei di gomma lacca, isolano presso a poco egualmente. Sembra anche, secondo l'esperienza di Coulomb, ch'essi posson isolare perfettamente le deboli cariche elettriche, allorchè abbiano una lunghezza di 15 in 20 pollici, e si abbia cura di riscaldarli prima di fare l'esperienze per ridurre in vapore l'umido che vi si appicca. Frattanto poichè essi non isolano compiutamente se non quando siano molto lunghi, egli è chiaro che si saturano sempre di una piccola quantità di elettrico; e però s' intende che una carica più forte, la quale reagisce sopra se stessa con maggiore energia, respinger deve il fluido fino all'estremo del sostegno e farlo così passare nel suolo con un moto lento e continuo. Si conosce che un corpo è perfettamente isolato, allorchè posto sopra molti sostegni soffre la stessa perdita che soffrirebbe se da un solo fosse sostenuto, e si può esser certo allora che questa perdita avviene per lo toccamento dell'aria.

La perdita per l'aria avviene in gran parte per lo vapore sparso più o meno copiosamente nell'atmosfera, perciocchè essa cresce secondo che l'igrometro segna maggiore umidità: il fatto è così sensibile, che se per esempio si soffii sopra un tubo elettrizzato, o sopra una verga di resina, non vi rimarrà più alcuna elettricità: e lo stesso si avvera soffiando sopra un conduttore isolato; ma in questo caso bisogna esser accorto a non soffiar molto da vicino, essendovi rischio di riceverne la scossa. L'elettricità che in tal modo si scarica attraverso dei vapori, si spande di strato in istrato nella circostante atmosfera, ed è probabile che i vapori ne sieno grandemente agitati. Tutta l'elettricità che si perde per l'aria non è poi l'effetto del solo vapore; imperciocchè l'aria anche perfettamente asciugata per mezzo del muriato di calce, dell'acido solforico, o di altri corpi assorbenti, lascia anche col tempo disperdere una parte del fluido elettrico dei corpi ch'essa circonda. Se ne può fare l'esperienza nella bilancia di Coulomb asciugando bene l'aria ch'essa contiene, ed elettrizzando la pallina dell'ago e la pallina fissa. Supponiamo per esempio che queste due palline si tengan prima a 20° di distanza, con una torsione di 250° del micrometro superiore; sarà la forza che fa equilibrio alla loro repulsione in questo caso di $250+20=270°$; passato un certo tempo, le palline si vedranno avvicinare, e dopo converrà per esempio voltare il micrometro superiore per 6° affinchè esse ritornino alla distanza primiera di 20°. Onde in I' la *forza elettrica perduta* sarà quella che farebbe equilibrio a 6° di torsione; e se si volesse conoscere la sua ragione alla *forza elettrica media*, la quale ha luogo durante questo minuto, basterebbe l'avvertire che da prima questa forza era di 270°, che alla fine divenne $244+20=264$, la media delle quali è $\frac{270+264}{2}=267$, donde

segue finalmente che la perdita durante un minuto è stata di $\frac{6}{267}=\frac{1}{44,5}$, vale a dire approssimativamente di una quarantaquattresima parte della forza media.

In questa guisa Coulomb pervenne a misurar con giustezza la perdita a traverso dell'aria: ne' giorni asciutti spesso si trova essere di $\frac{1}{60}$ o anche $\frac{1}{70}$ della forza media per ogni minuto; ma ne' tempi un poco umidi suol essere di $\frac{1}{20}$, ed allora è quasi impossibile di fare giuste esperienze. Quando avvengono poche variazioni atmosferiche tanto nella temperatura quanto nella direzione dei venti, la perdita attraverso dell'aria rimane quasi la stessa in tutto il corso della giornata, e si può facilmente paragonare la perdita che avviene nella bilancia con quella di un conduttore elettrizzato, imperciocchè si tocca questo corpo con un piano di prova il quale si porta tosto nella bilancia, si fa toccare la pallina dell'ago e si osserva la repulsione, indi dopo qualche minuto si ripete la stessa esperienza, badando prima di ridurre allo stato naturale il piano di prova e la pallina mobile, e si vedrà la repulsione essere minore, il che è un segno certo che nel toccare la seconda volta il conduttore elettrizzato esso era men carico, perciocchè meno elettrico ha dato al piano di prova. Ora ammettendo che un corpo dia al piano di prova che lo tocca *nello stesso luogo* e *nella stessa guisa* quantità di elettrico proporzionati a quelle ch'esso ha, siccome di certo dimostreremo, s'intenderà le cariche elettriche del corpo, nei due tempi nei quali è stato toccato, essere proporzionali alle forze di torsione, e quindi potersi facilmente determinare la perdita che ha sofferto in un dato tempo. Questo mezzo di paragonare le forze elettriche e di calcolare quel che debbono essere in ogni istante, allorchè si sappia quel che sono in un dato tempo, è uno de' più belli ritrovati che siansi fatti intorno all'elettricità: in grazia di questo ha potuto Coulomb porre sopra solide basi i principî fondamentali della scienza.

203. *Distribuzione dell' elettricità sulla superficie de' corpi conduttori.* — L' elettricità naturale è sparsa uniformemente in tutta la massa di un conduttore e vi sembra raccolta in quantità indefinita, siccome il calorico ed il magnetismo: ma tosto che il fluido è libero o separato dall'altro fa impeto sopra se stesso, mercè la sua forza repulsiva, e tutte le sue molecole tendono continuamente a disperdersi, fino a che non trovino un ostacolo che le rattenga. Un corpo, il quale fosse perfettamente conduttore, non presenterebbe in tutta la sua massa alcuna resistenza a siffatta dispersione, ed il fluido, giunto rapidamente alla sua superficie, scapperebbe fuori se s' imbattesse in uno spazio egualmente permeabile; il vuoto dando libero passaggio all' elettricità, un corpo elettrizzato, posto in mezzo ad uno spazio vuoto, perderebbe tosto il suo fluido libero. Laonde la terra è probabilmente tra i pianeti la sola che possa essere elettrizzata alla superficie; perciocchè essa è la sola che sembra esser circondata da una atmosfera. Noi vedremo che gli stessi metalli non sono perfetti conduttori: frattanto il fluido elettrico passa con tanta rapidità da un punto all' altro della loro massa, che, almen per ora possiam supporre l' elettricità della quale essi si caricano non avere a superare alcuna resistenza per moversi nella loro sostanza. Segue da questa ipotesi l'elettricità libera, eccitata in un punto qualunque di un conduttore metallico, ridursi sempre alla superficie dello stesso ed ivi esser trattenuta dall' aria circostante. Ma come disponsi essa nell'intera massa di un conduttore? È mestieri forse per l' equilibrio che essa egualmente vi si spanda, siccome l' aria in un recipiente? O convien che le sue molecole ubbidienti alla lor forza repulsiva vadano ad accumularsi e prendersi verso l' aria che circonda la superficie del conduttore, ovvero verso i corpi non conduttori che la coprono? Ecco tre esperienze che posson spander qualche lume sopra questo punto importante della teorica:

1°. Un globo isolato (*fig.* 300) è ricoperto da due emisferi di carta, vestiti di foglie metalliche o di canutiglia, le quali si possono levare e mettere a piacimento per mezzo di due manichi di vetro *v* e *v'*: questo globo si elettrizzi, stando così coverto, indi si tolgan via rapidamente gli emisferi, e si vedrà il globo denudato di questa copertura essere perfettamente spogliato di sua elettricità. Il fluido dunque si è ridotto alla superficie, e vi si è accumulato in guisa da non restarne punto nell' interno.

2°. Una sfera di 7 in 8 pollici di diametro, avente una piccola cavità di 8 o 10 linee di larghezza e di un pollice di profondità, si carichi di elettricismo tenendola isolata: se essa si tocchi alla superficie col piano di prova, se le torrà del fluido; ma col toccarla nel fondo dell' anzidetta cavità, il piano di prova resterà sensibilmente allo stato naturale.

3°. Finalmente due sfere conduttrici si elettrizzino insieme e poi si separino: indi una di queste si tocchi con una sfera dello stesso raggio della precedente, ma fatta di canutiglia o di carta dorata, o anche di resina vestita di foglie di stagno o d'oro battuto. Dopo che siansi toccate si sperimentino col piano di prova e con la bilancia elettrica le forze delle due prime sfere e si troveran perfettamente eguali; la sfera metallica piena non ha tolto dunque maggior elettricità dalla prima, di quello che la sfera *superficiale* ne ha tolto dalla seconda; il chè è un chiaro argomento che l'elettricità libera non si tien mai nell'interno de'corpi, che va per la superficie, ed anche chè vi occupa una insensibile grossezza: imperciocchè se lo strato del fluido elettrico avesse maggior grossezza della foglia d'oro battuto, la sfera superficiale non ne riceverebbe tanto quanto la piena.

Queste dimostrazioni sperimentali sono anche rifermate da una dimostrazione matematica, imperciocchè questa disposizione del fluido elettrico nel suo stato di equilibrio è una necessaria conseguenza della repulsione che opera sulle molecole in ragione inversa del quadrato delle distanze.

Dal perchè il fluido elettrico respinto da se stesso disponesi alla superficie de' corpi, in uno strato di una grossezza minore di quella di una foglia d'oro battuto, non deve conchiudersene esser questa grossezza insensibile, e tale da non doversene tener conto nella generazione de' fenomeni. Le dimensioni che sfuggono a' nostri sensi non son meno paragonabili tra loro; e le grossezze infinitamente piccole degli strati elettrici possono essere decuple o centuple le une delle altre, siccome quelle che si misurano per tese o per metri. In un globo conduttore elettrizzato (*fig.* 298) tutto essendo simmetrico intorno al suo centro, è chiaro che lo strato elettrico debba per tutto avere la stessa grossezza; onde essa sarà compresa tra la superficie *ee'* del globo dove l'elettrico si arresta contro l'aria, ed un' altra superficie *ii'* anche sferica che passa *al di sotto* o *al di dentro* della prima, ad una distanza infinitamente piccola dalla medesima: questa superficie *interna* dello strato elettrico è la sua superficie *libera*. Sembra da prima che una molecola del fluido quale sarebbe *m*, non possa essere in equilibrio in questo stato; ma immaginando un piano *pmp'*, si vedrà che se tutto il fluido ch'è al di sopra tende con la sua repulsione a menare la molecola *m* verso il centro, tutto il fluido ch'è al di sotto tenderà al contrario a rimenarla verso la superficie; e la matematica dimostra che posta la legge della ragione inversa de'quadrati delle distanze queste due forze opposte debban comporsi in equilibrio (1). Non deve però dirsi lo stesso di una molecola *n'* la quale stia sulla superficie esterna; perciocchè questa essendo respinta lungi dal centro, da tutte le molecole del fluido, preme continuamente contro l'aria o i corpi non conduttori sopra i quali si appoggia.

Il de Laplace ha dimostrato il fluido elettrico avere una forza repulsiva proporzionale sempre alla grossezza dello strato (2); e siccome la pressione che esso esercita contro l'aria o contro gli ostacoli che lo trattengono è in ragion composta della sua forza repulsiva e della sua grossezza, così segue che questa pressione, in ciascun punto, e sopra ciascuno elemento della superficie, sia proporzionale al quadrato della grossezza dello strato che trovasi in questo punto o sopra questo elemento. Laonde il fluido elettrico sparso sopra i corpi conduttori può essere considerato siccome i fluidi ponderabili contenuti in vasi contro i quali esercitano delle pressioni: se questi vasi presentano molta resistenza, il fluido sarà ritenuto; ma se non hanno forza sufficiente da opporre alla pressione, le pareti si rompono ed il fluido esce: per lo fluido elettrico, il vase è il corpo conduttore, la parete è l'aria che lo circonda o la mano di vernice coibente che lo copre; e quando la grossezza dello strato elettrico è molto grande, il fluido rompe l'aria o penetra la mano di vernice, ed esce la scintilla che annunzia il rapido scorgar del fluido. Quando lo strato elettrico è fermato e

(1) Coloro che bramassero degli schiarimenti intorno a questa materia potranno consultare il terzo tomo della più volte lodata opera del sig. Belli p. 82 e seg.

(2) L'elettrico può trovarsi più o men accumulato ne' diversi punti della superficie di un corpo elettrizzato, siccome di certo vedremo. Or ne' casi nei quali siffatto accumulamento è maggiore, stimano alcuni formare uno strato proporzionatamente più grosso, ma sempre della stessa densità: si potrebbe anche dire che in questi casi lo strato elettrico in vece di farsi più grosso si renda più denso. Ma nel fatto forse avviene, dice il mio rispettabile amico sig. Giuseppe Belli, che ai maggiori accumulamenti corrisponda nello stesso tempo e una maggiore grossezza dello strato elettrico ed una maggiore densità. L'autore adopera sempre la voce *grossezza*, siccome il Belli adopera sempre quella di *densità*; ma dopo quel che abbiamo detto s'intenderà qual senso si debba dare a queste voci.

tenuto in equilibrio, la somma delle azioni ch' esso esercita sopra un punto interno qualunque è chiaro dover esser sempre nulla ; senza di che essa genererebbe per influsso una nuova decomposizione dei fluidi naturali che sono in questo punto , e l' equilibrio sarebbe turbato.

Sopra un'ellittoide di rivoluzione (*fig.* 299) la grossezza elettrica non è più la stessa nei diversi punti della soperficie. Segue dalle dimostrazioni matematiche delle quali testè facevamo parola, che al polo *p* e in un punto *q* dell' equatore le grossezze son tra loro come i raggi vettori *cp* e *cq*; per conseguenza le pressioni son tra loro come i quadrati di *cp* e di *cq*. Se per esempio l'ellittoide sia molto allungato in guisa che $cp=100\ cq$, la pressione al punto *p* sarà 10000 volte più grande che al punto *q*; onde sempre per l'estremo più sottile dell' ellittoide dovrà il fluido scorgare.

Una punta molto acuta può sempre esser considerata come se fosse il polo di un allungatissimo ellittoide di rivoluzione; e però per quanto debole possa essere la carica elettrica di un tal corpo, il fluido che si accumula sulla punta vi formerà sempre uno strato di tale grossezza da poter vincere la resistenza dell' aria: di qui nasce il *potere delle punte* che era stato scoperto da Franklin, prima che la teoria ne avesse renduto ragione. Si dice alcune volte di aver le punte il potere di assorbire l' elettrico ; ma deve dirsi appunto il contrario: esse hanno la propr età di lasciare scorgare il fluido di cui son cariche (1). Molte sperienze posson farsi, derivanti da questa proprietà delle punte, e noi ci restringeremo ad additarne le seguenti:

1°. Ponendo una punta acuta sopra i conduttori della macchina sarà impossibile di caricarli e di averne delle scintille: il fluido si dissiperà per la punta a misura che col moto della machina si ecciterà (2).

2°. Se ai conduttori della macchina si presenti ad un piede di distanza una punta che comunichi col suolo, sarà del pari impossibile che i conduttori si carichino; imperciocchè l' elettricità della punta respinge nel suolo quella dello stesso nome, ed attrae quella di nome contrario, la quale si accumula sulla punta e passandro attraverso dell'aria va a neutralizzare quella del conduttore (3).

3°. Un campanello armato di una punta (*fig.* 301) posto sotto il conduttore della macchina, alla distanza di 2 o anche di 3 piedi, fa conoscere col rumore de' pendolini *p* e *p'* lo sgorgar dell' elettricità. Questa sperienza è la stessa della precedente : le linee nere dinotano sulla figura i fili che debbono essere coibenti.

Noi dovremo tornare a discorrere delle proprietà delle punte, allorchè parleremo della luce elettrica e specialmente nella meteorologia, quando ci faremo a parlare dell'elettricità atmosferica e della maniera di fare i parafulmini.

Gli angoli e gli spigoli de' corpi conduttori presentano fenomeni analoghi a quelli delle punte; ond' è che conviene usare ogni diligenza nel fuggire tutte le forme angolate negli strumenti ordinati a conservare l' elettricità.

I fatti precedenti ci menano ad una quistione generale di cui ora possiam comprendere l' estensione: essendo dati de' corpi conduttori di forme e di grandezze conosciute, alcuni dei quali siano nello stato naturale, ed altri sian carichi di elettricità vitrea o resinosa ; posti l' uno presso l' altro, secondo alcune date giaciture, ed a tali distanze fra loro che i fluidi possano semplicemente operare per influsso, senza passare da un conduttore all' altro ; si domanda quale sia lo stato elettrico di un punto qualunque di questo sistema , cioè qual genere di elettricità vi si trovi , e di quale spessezza.

Un metodo sperimentale per risolvere questo problema in tutta la sua generalità ci fu dato da Coulomb. Ecco il principio dal quale dipende : allorchè un piano di prova sottilissimo e molto piccolo sia appoggiato a modo di piano tangente sopra una superficie elettrizzata, e poi sia ritirato perpendicolarmente senza toccarla con gli orli, esso sarà carico in ambe le facce da una spezzezza elettrica, metà di quella del punto della superficie toccata. Coulomb dimostrò questo principio, determinando la ragione secondo la quale l' elettricità si divide tra una sfera ed un piano circolare che la tocchi col suo centro, e poi sia rimosso per la direzione della perpendicolare. Ma si può anche in altra guisa rendersi certo della stessa verità : quando un piano di prova è tangente ad una superficie , esso confondesi con la su-

(1) Cioè se si voglia ammettera l' ipotesi di Symmer, ma qualora seguitar si volesse l' ipotesi ricevuta nelle nostre scuole, non sarebbe mica un errore il dire che le punte hanno anche il potere di assorbire l' elettrico. E per fermo, le punte di cui sono armati i conduttori della macchina elettrica non assorbon forse secondo la nostra ipotesi l'elettricità positiva sviluppata sul disco?

(2) Difficilmente si ha questo effetto da una sola punta.

(3) Questo, secondo noi, sarebbe un caso di assorbimento.

perficie toccata ed occupa in certo modo il luogo di quella, rispettivamente alla elettricità, o piuttosto esso diventa l'elemento sul quale il fluido si spande; onde rimovendo questo piano, è lo stesso che se si fosse tagliato sulla superficie un elemento della stessa grossezza e della stessa superficie di questo, e che si fosse tolto per recarlo nella bilancia, senza che abbia perduto nulla della elettricità della quale era carico; questo elemento separato dalla superficie dovrebbe avere in ogni suo punto una spessezza elettrica, metà di quella che avea sulla superficie, perciocchè il suo fluido deve in questo caso spandersi sopra ambe le facce. Fermato questo principio, altro non ci vuole per le sperienze se non che abitudine e prontezza: dopo di aver toccato un punto della superficie con un piano di prova, si porta questo nella bilancia, dove esso divide la sua elettricità col disco dell'ago che gli è eguale; e si osserva la forza di torsione per una data distanza. Si ripete la stessa esperienza toccando un altro punto, e la ragion delle forze di torsione sarà la stessa di quelle delle repulsioni elettriche, e le radi i quadrate di queste daranno la ragione delle spessezze. Così l'ingegno di Coulomb ha nello stesso tempo dato ai matematici la legge fondamentale delle attrazioni e delle repulsioni elettriche, ed ai fisici una nuova bilancia con alcuni princìpi di esperienze, mercè i quali essi possono in certo modo scandagliare la spessezza dell'elettricità sopra tutt' i corpi e misurare le pressioni ch' essa esercita sopra gli ostacoli che la impediscono.

Il problema generale del quale abbiam fatto parola può essere in ogni caso agevolmente e compiutamente dall'esperienza risoluto, e può essere anche trattato con analisi matematica. Il Poisson ha pubblicato due memorie sopra questo argomento (*Mém. de Institut*, 1811 1re *et* 2e *partie*): partendo dalla legge di Coulomb e da alcuni fondamentali problemi sulle attrazioni degli sferoidi, dimostrati da de Laplace, ei giunge a certe equazioni generali, che risolve poi per lo caso di un elissoide o di due sfere, per mezzo di quegli ingegnosi artifici di calcolo, che a lui erano tanto familiari.

Non potendo qui neppur per compendio esporre un cotal lavoro, ci terrem contenti di citare alcuni risultamenti degni di maggiore attenzione; essi comprovan tanto più la giustezza delle analisi, in quanto che Coulomb gli avea già con l'esperienza dimostrati (*Mém. de l'Académie*, 1787).

1.° Sia qualunque la ragion de' raggi delle due sfere elettrizzate, la spessezza elettrica sarà sempre nulla nel punto di lor toccamento.

2.° Partendo da questo punto, la spessezza elettrica lentamente cresce; e quando divien sensibile è più grande sulla sfera di maggior raggio; ma poi ad una certa distanza comincia a crescere più rapidamente sulla sfera minore, in guisa che vi è sempre maggiore alla distanza di mezza circonferenza dal punto di toccamento.

3.° Nei due punti diametralmente opposti a quello di toccamento la ragion delle spessezze è tanto più grande, per quanto più piccola è la sfera minore, ma tende verso un limite il quale è 4,2.

4.° Separando queste sfere in modo che più non abbian tra loro scambievole azione, la spessezza elettrica sarà sempre maggiore nella sfera più piccola; la ragione di queste spessezze, tende del pari verso di un limite, il quale è $\frac{5}{3}$.

5.° Allorchè queste sfere separansi in guisa che restino a tal distanza da esser sottoposte al loro scambievole influsso, se siano per esempio entrambe cariche di elettricità vitrea, la sfera minore prenderà elettricità resinosa nel punto più vicino alla sfera maggiore, e per un certo spazio intorno a questo punto continua ad essere elettrizzata resinosamente in questa parte, scemando però cotale elettricità con la distanza fino a che l'intervallo che separa le due sfere non sia (ne' casi più favorevoli) eguale presso a poco al raggio della sfera maggiore, dove l'elettricità resinosa sparisce; oltre di questo termine poi, la sfera minore mostra elettricità vitrea, in tutta la sua superficie, egualmente che la sfera maggiore. Quando il raggio della piccola sfera oltrepassi la sesta parte di quello della sfera maggiore, l'elettricità resinosa apparisce ancora, ma si dilegua prima che l'intervallo delle due sfere sia eguale alla metà del raggio della sfera più grande.

6.° Quando una piccola sfera presa allo stato naturale sia elettrizzata per influsso da una sfera più grande, quella opera per influsso sopra di questa per turbare l'uniforme spessezza dello strato elettrico della medesima, ed allora questa spessezza andrà decrescendo dal punto più vicino alla piccola sfera, fino ad una distanza di $\frac{3}{4}$ di circonferenza, ed al di là cresce fino al punto diametralmente opposto (1).

(1) V. Belli I, c.

CAPO IV.

DELLA ELETTRICITA' DISSIMULATA.

204. *Della dissimulazione dell' elettricità, e del suo subito o lento ricomporsi.* — Consideriam due dischi conduttori *a*, *a'* (*fig.* 315) posti di rincontro l'uno all'altro, e tramezzati da una lamina coibente *n* di vetro o di resina; quando il disco *a* riceve per esempio elettricità vitrea, e l'altro *a'* la resinosa, queste due elettricità, attraendosi attraverso della lamina coibente, *n* ne premono le opposte facce sforzandosi di congiungersi: allora dicesi che tali elettricità son dissimulate. E per fermo, essendo i dischi carichi, si può toccare l'uno o l'altro, senza far che il fluido passi nel suolo, ma è mestieri toccarli *separatamente*, e non *simultaneamente*: il fluido del disco toccato non ubbidisce alla forza repulsiva che gli è propria, perciocchè esso è attratto e ritenuto dal fluido dell'altro. In tal guisa le più vigorose cariche elettriche accumulansi sopra i dischi, premono sulle facce opposte della lamina coibente, e restano l'una dall'altra dissimulate, fino a che solo uno de' fluidi abbia comunicazione col suolo. Supponiamo che i due dischi siano matematicamente eguali e simili, che la lamina *n* sia perfettamente piana da ambe le facce e per tutto di eguale grossezza, e che la macchina, o qual siasi altra sorgente dalla quale viene l'elettricità vitrea al disco *a* per mezzo del filo *f*, sia perfettamente della stessa forza di quella che per mezzo del filo *f'* dà al disco *a'* l'elettricità resinosa, in guisa che abbiasi una perfetta simmetria dall'una e dall'altra parte del piano che passa per lo mezzo della lamina *n*; egli è chiaro che i due dischi avran sempre delle cariche eguali, e che ne' punti simmetrici, presi sopra di essi, le grossezze o le tensioni elettriche saranno anche sempre le stesse. Ciò posto, si può avere come principio fondamentale dell'elettricità dissimulata, che dopo di aver caricato comunque l'apparecchio, ed averlo poi isolato, togliendo la comunicazione dei fili *f*, *f'*, senza fare ad essi toccare il suolo, accade sempre che la dissimulazione sia incompiuta, vale a dire che non esista alcun punto sopra i dischi o sopra i fili, dove la tensione elettrica sia perfettamente nulla. Questa tensione è grandissima sopra le facce interne *i* ed *i'*; ed ivi, quando le superficie sian molto ampie, i fluidi posson premere la lamina *n* con tanta forza da aprirsi un varco attraverso di essa, e penetrarla nel riunirsi: se cotesta lamina sia di resina o di zolfo, si faranno molte piccole impercettibili fessure; ma se sia di vetro sottile, i fluidi faranno un sol buco, e risplenderanno nel correre precipitosi a ricomporsi. Sopra le facce esterne *e*, *e'*, e sopra i fili *f*, *f'*, la tensione elettrica che opera verso l'aria è debolissima in confronto della tensione interna; ma pur vi si trova, siccome può vedersi usando il piano di prova, o anche avvicinando successivamente la giuntura di un dito a ciascun disco o filo, da' quali si estrarranno piccole scintille. La dissimulazione non può mai esser perfetta, perciocchè i fluidi accumulati per la maggior parte sopra le facce interiori *i*, *i'*, restano ancor separati dalla spessezza della lamina coibente *n*, nell'atto che essi solo nel toccarsi potrebbero essere l'un dall'altro neutralizzati. Laonde la dissimulazione dovrà tanto più perfetta riuscire, per quanto più sottile sia la lamina coibente; ma in questo caso essendo la lamina più sottile, minor resistenza potrà opporre alla pressione elettrica. Di qui nasce, siccome di corto vedremo, un certo termine oltre del quale non possiamo accumulare elettricità.

L'apparato essendo carico, siccome abbiam detto potrà l'elettricità subitamente o lentamente ricomporsi.

Il *subito ricomporsi* si opera nel seguente modo: si prende pe' suoi manichi isolati *mm'* l'*eccitatore bcb'* (*fig* 316), i cui archi di rame *bc*, *cb'* sian mobili intorno alla cerniera *c*; si tocchi l'uno de' dischi con la pallina *b*, e si accosti all'altro disco la pallina *b'*, alla distanza di uno o di due pollici; spiccherassi una molto splendente e luminosa scintilla, e l'apparecchio sarà scaricato. Per la tensione elettrica del punto di toccamento *b*, una parte del fluido vitreo spandesi sull'eccitatore; allora il fluido resinoso, essendo meno attratto di quel che era, renderassi meno spesso sulla superficie *i'*, crescendo sulla superficie esterna *e'*, dove attrarrà il fluido vitreo ch'è in *b*; questa attrazione fa correre il fluido vitreo verso *b'*, dove esso si accumula, scemando sul disco *a*; e nello stesso tempo il fluido resinoso renduto più libero si riduce e si accumula verso la faccia esteriore *a'*, dove è attratto; in fine la tensione è sufficiente per farsi strada attraverso dell'aria, e tutto si precipita e si ricompone in un istante (1).

Il *lento ricomporsi* presenta de' piacevoli fenomeni, e fa anche meglio vedere come l'elettricità dissimulata si comporta. I dischi essendo elettrizzati ed isolati (*fig.* 317), due piccoli pendoli *p*, *p'*, i quali comunicano con le

(1) V. Il Supplimento che segue.

lor facce esterne, soffrono una repulsione generata dall'elettricità libera di queste facce. toccando per esempio il disco *a*, se ne estrae una piccola scintilla, il pendolo *p* tosto si abbasserà, alzandosi l'altro *p'*, come se il disco *a'* avesse una nuova carica ricevuto, ma questo accrescimento di repulsione deriva solo dal fluido vitreo che il disco *a* ha sofferto; se dopo si tocchi il disco *a'*, si abbasserà il suo pendolo; e si alzerà quello di *a*; ritornando al disco *a'* si vedrà nascere lo stesso fenomeno: e così continuando alternativamente fino a che l'apparecchio non siasi interamente scaricato.

Noi abbiam supposto che i dischi ricevessero l'elettricità l'uno da sorgente resinosa, l'altra da sorgente vitrea, e che ciascuno di essi ne ricevesse quantità eguali; ma il più delle volte si fa uso solamente di una macchina: il disco *a* per esempio è posto in comunicazione con essa, ed il disco *a'* col suolo; allora quest'ultimo si caricherà per influsso, e la sua carica sarà sempre minore di quella del disco *a*. Quando son tolte le comunicazioni il pendolo *p'* starà in quiete ed il pendolo *p* divergerà; ma essendo la perdita per l'aria proporzionatamente maggiore sul disco *a*, ne segue che il suo pendolo a poco a poco si abbasserà, nell'atto che il pendolo *p'* alzerassi alquanto, ed allorchè entrambi egualmente divergono, la perdita per l'aria sarà eguale per ambi i dischi, ed i due pendoli insieme si abbasseranno tanto più lentamente per quanto più l'aria è asciutta. In vece di due dischi separati da una lamina di vetro si può fare uso di una lastra anche di vetro, sulle cui superficie siano incollate due foglie di stagno, rimanendone scoperto un margine di due o tre pollici, il quale si copre di vernice per accrescerne la coibenza (*fig.* 318).

205. *De' condensatori.* Tutti gli strumenti nei quali l'elettricità dissimulata si accumula sono essenzialmente composti di due lamine deferenti, tramezzate da una lamina coibente, e sono generalmente detti *condensatori*, imperciocchè veramente il fluido elettrico sembra condensarsi dissimulandosi. Questi strumenti variano di forma e di nome, secondo gli usi pe' quali sono ordinati.

Quelli de' quali ci siam giovati nelle antecedenti esperienze (*fig.* 315, 316, 317, 318) sono condensatori a lamine di vetro; essi sono atti ad accumulare gran copia di elettricità, ma a cagion della spessezza del vetro debbono essere caricati dalle macchine, dagli elettrofori, o generalmente da sorgenti elettriche di molta tensione.

Il *condensatore a taffettà* (*fig.* 319) è composto di un disco di legno *bb'*, rivestito di un taffettà inverniciato *tt'*, e di un piatto conduttore *cc'*, unito ad un manico isolante *m*. Il piatto essendo posto in comunicazione con una sorgente elettrica, o immediatamente, o mercè l'asta terminata a sfera *c'b'*, il fluido si spanderà sopra tutta la sua superficie, opererà per influsso attraverso del taffettà sulle elettricità naturali del disco di legno, che deve comunicare col suolo, e lo strumento si caricherà in proporzione della tensione della sorgente dalla quale il fluido gli viene. Indi si alza il piatto perpendicolarmente per separarlo dal taffettà, e per riconoscere, mercè l'elettroscopio o la bilancia, la natura e la quantità di elettrico di cui è carico. Il taffettà è più sottile del vetro, ma è anche men solido; donde segue che siffatto condensatore prende più elettricità dell'antecedente, ma non può reggere a cariche così forti: esso è buono per riconoscere il fluido delle sorgenti che non hanno molta tensione.

Il *condensatore a lamine di oro* (*fig.* 320) altro non è che un elettroscopio a lamine d'oro, sul quale si accomodano due tondi metallici sottili e bene spianati: quello di sopra *cc'* è mobile e si toglie mercè un manico isolante, quello di sotto *ff'* è fermato alla guernitura *gg'* della campana *hh'*, e la lamina coibente che li tramezza è disposta con molta arte e diligenza. Dopo di aver separati i tondi si spalman successivamente con un pennello, dando loro parecchie mani di una vernice assai liquida, fatta con gomma lacca sciolta nell'alcool: questa vernice asciuttata forma una pellicola atta a trattenere l'elettricità, sebbene la sua grossezza non giunga ad un decimo di millimetro. In tal modo i tondi quasi si toccano, e la dissimulazione dell'elettricità è intera per quanto è possibile: sotto questo riguardo il condensatore a lamine d'oro è il più perfetto che si conosca; ma la sottil pellicola di vernice non opponendo che pochissima resistenza, esso potrà solo reggere alle più deboli cariche. Questo strumento ci sarà utile appresso per molte ricerche intorno all'elettricità, che si svolge o col semplice toccarsi de' corpi o per le azioni chimiche che si compiono in essi. Per le sperienze delicate giova tener la campana del condensatore circondata da una gabbia di vetro, nella quale si possa con qualche corpo assorbente asciugar l'aria.

Il condensatore di Peltier (*fig.* 321) ha esso pure una grande sensibilità, e può, in talune circostanze, rimpiazzar con vantaggio l'antecedente a lamine d'oro; da questo diffe-

risce, non per i piatti, ma per l'apparecchio mobile che accusa l'elettricità. Cotesto apparecchio trovasi rinchiuso in una maniera di gabbia cilindrica *a* di vetro; esso è formato d'un'asta ricurva *bcd*, isolata nel sostegno che sorregge la gabbia, la quale asta conduce l'elettricità del piatto inferiore all'estremo *b*; quivi si trova un ago di rame mobile e leggerissimo, il quale, mercè un pivuolo d'acciajo si posa sopra una lamina egualmente d'acciajo ed alquanto concava, fissata sull'estremo *h* dell'asta *bcd*. Perchè quest'ago non sia *folle*, ma possegga, al contrario, una debole forza direttrice, si adatta vicino al pivuolo l'estremo d'un filo d'acciajo finissimo ed alquanto calamitato. Lo strumento dev'essere orientato, perchè la forza direttrice conduca il disco di canutiglia in che termina l'ago di rame, leggermente in contatto con l'asta *bcd*. S'intende allora che il disco e l'asta carichi entrambi della stessa elettricità, si respingono e cagionano un allontanamento dipendente dall'intensione della carica. Un cerchio diviso indica l'angolo percorso dall'ago, ed in un altro simil cerchio, con divisioni in corrispondenza, tracciato sulla parte superiore e piana della gabbia di vetro, si legge l'angolo senza errore di parallasse.

Peltier aveva procurato di dar maggior sensibilità a questo suo strumento, mercè un secondo disco di canutiglia, mantenuto allo stato naturale, e seguente a piacere i moti del primo. Si raggiunge questo scopo con l'ajuto dell'asta esteriore *t*, che si muove con la mano, e che va connessa ad un'asta verticale, che passa per l'asse dello zoccolo, e che è fornita d'un braccio di leva orizzontale, all'estremità del quale si trova il secondo disco di canutiglia.

Questo strumento infine, può essere agevolmente trasformato in bilancia di torsione.

Raddoppiatore di Bennet. — Devonsi a Bennet, i primi elettroscopii a foglie d'oro. Cotesto valente ed ingegnoso osservatore procurò renderli più sensibili, con un artifizio mercè il quale sperava egli raddoppiar indefinitamente le più deboli cariche elettriche; ma ben presto s'avvide Cavallo che delle cause accidentali concorrevano infallibilmente nella produzione degli effetti osservati, e che perciò il *raddoppiatore* non poteva ispirare confidenza alcuna. L'opinione di Cavallo è stata pienamente giustificata; e se io offro qui lo strumento di Bennet, è solo per mostrare quanto bisogna esser cauti nell'uso de' condensatori. Questo strumento, fig. 322, 323, 324 e 325, è un condensatore a tre piatti: l'inferiore *f*, il quale rimane immobile, e sempre in comunicazione con le lamine d'oro, un secondo *m*, in mezzo ai due, e con un manico isolante orizzontale, e finalmente un terzo superiore *p* con manico isolante verticale. Nelle osservazioni si fa uso, da prima, de' due piatti *m* ed *f* (*fig.* 323), il primo facendolo comunicare col suolo, ed il secondo con la sorgente elettrica; quindi si toglie *m* con l'elettricità dissimulata che esso possiede, e lo si pone in contatto con *p* (*fig.* 324) che si fa comunicar col suolo; in tal modo *p* si carica della stessa elettricità di *f*; allora rimettendo *m* su *f*, si fa comunicare *p* con *f*, e la carica di questo trovasi così aumentata e quasi raddoppiata; per conseguenza *m* si carica ancor di più, e si può ripetere quest'operazione fino a che la carica sia quanto basti.

206. *Della boccia di Leida, e delle batterie elettriche.* — Un vaso di vetro rivestito all'estremo di una foglia d'oro o di stagno, fino ad alcuni pollici al di sotto dell'orlo, e nell'interno o foderato similmente e pieno soltanto di qualche sostanza deferente, come di acqua, di palline di piombo, di foglie d'oro, o di canutiglia, forma la così detta *boccia di Leida* (*fig.* 321), o la *giara elettrica* (*fig.* 322); l'asta *tb* dicesi *bottone, uncino* o *interno* della boccia, perciocchè essa veramente serve a mettere la superficie interna in comunicazione col suolo o con la sorgente elettrica; tutto lo spazio compreso tra il collo *gg'* e l'*armatura esterna aa'* è con molta diligenza inverniciato.

Per caricare la boccia si tiene in mano per la *pancia* o per l'armatura esterna, e per mezzo del bottone si fa comunicare col conduttore della macchina, o facendolo toccare, o meglio tenendolo ad una tal distanza da ricevere una serie di scintille le quali rapidamente succedonsi, perchè secondo che queste sempre più si rallentano si ha un indizio del grado di carica. L'elettricità vitrea del conduttore passa nella boccia e si spande sopra la superficie interna, donde opera per influsso attraverso della spessezza del vetro, decomponendo l'elettricità dell'armatura esterna, attraendo la resinosa che si accumula e si condensa sulla parete del vetro, e respingendo la vitrea la quale per mezzo della mano e del corpo scende nel suolo. La boccia potrebbe essere caricata in verso contrario, tenendone fra le mani l'uncino, e presentandone la pancia al conduttore; ma nell'uno e nell'altro caso la comunicazione di una delle armature

col suolo non è meno importante di quella dell' altra con la macchina. Talvolta la boccia spontaneamente con molta luce si scarica; talvolta la scintilla balena tra il bottone e l' armatura esterna, ed allora può essere nuovamente caricata: ma se la scintilla si apre un varco attraverso del vetro la boccia così bucata renderassi inutile.

Quando la boccia è carica si pone con cautela sopra un isolatore, e poi si può in un subito con l'eccitatore scaricarla, o anche lentamente, tirando alternativamente molte piccole scintille dal bottone e dalla pancia.

L' elettricità dissimulata non rimane punto sulle armature, ma le abbandona per unirsi al vetro, e premere sulla superficie di esso: il che dimostrasi mercè della boccia ad *armature mobili* (*fig.* 323); dopo di averla caricata e posta sopra un isolatore, si toglie l'armatura interna, la quale porterà seco pochissima elettricità; indi togliesi il vetro restando sull' isolatore l' armatura esterna, la quale dà in simil guisa debolissimi segni elettrici: ma se dopo di aver toccato le armature, e ridottele allo stato naturale, si ponga il vetro nell'armatura esterna, e l' armatura interna nel vetro, la boccia così ricomposta sarà quasi ancor carica come prima; il che dimostra assai chiaramente, che nel separare le armature della boccia, le sue elettricità rimasero unite alla superficie del vetro: come avremmo potuto assicurarcene anche ponendo una mano dentro una boccia priva della sua armatura e l' altra dalla parte esterna, perciocchè avremmo ricevuto una forte scossa.

Se alla boccia si presentano molti conduttori da poterla scaricare, l' elettricità sceglierà sempre il migliore; in modo che tenendo con una mano una catena o un filo metallico che tocchi la pancia della boccia, si può prender con l' altra mano la catena o il filo, e portarlo a toccare il bottone, senza sentire l' effetto della scarica, la quale passerà sempre per lo filo metallico, e non mai pel corpo: frattanto è sempre buono l'assicurarsi di non esservi nel filo metallico alcuna interruzione, e badare che non sia troppo sottile da non poter dare libero passaggio a tutto il fluido; perciocchè un filo sottilissimo non sarebbe sufficiente a farci schivare il colpo.

La carica di una boccia si misura dallo spazio che percorre una scintilla, scagliandosi dal bottone dell'armatura interna ad un altro bottone che comunichi con l' esterna (*fig.* 332); l' asta *tq* è divisa; essa si porta innanzi mercè la vite *v*, e si osserva la distanza dalla quale la scintilla è partita. Affinchè l' esperienze fossero paragonabili, converrebbe che la pallina *b* rimanendo la stessa, tutt' i bottoni delle diverse bocce fossero tra loro eguali.

Noi riferiremo intanto diverse esperienze delle quali ciascuno potrà render ragione mercè le antecedenti dottrine.

Nello *scampanio* della figura 333, uno dei campanelli comunica con l'estremo della boccia, l' altro con l' interno; la piccola pallina metallica è sospesa con un filo isolante; le vibrazioni son tanto più celeri per quanto più piccola è la distanza de' campanelli; in tempo asciutto, e con mediocri cariche, se ne possono contare parecchie centinaia.

Il ragnatelo di Franklin, del quale discorremmo innanzi, può essere sostituito alla pallina metallica dell' antecedente esperienza.

Le figure di Leichtemberg sembrano indicare una essenzial differenza tra le due elettricità resinosa e vitrea: si può ottenere con uno de' soliti conduttori che comunichi con la macchina, ma più belle e regolari si hanno con la boccia di Leida. Per ciò fare prendesi una boccia carica, e sopra una stiacciata di resina bene asciutta si segnan delle figure da prima col bottone in cui è l' elettricità vitrea, per esempio, e poi con la pancia che contiene elettricità resinosa; indi con un manticetto, entro del quale vi sia un mescuglio di zolfo e di minio, ridotto in sottilissima polvere, si soffia sulla stiacciata di resina, e si osserveranno le tracce elettriche che la boccia ha lasciato sulla resina. Le tracce vitree diventan gialle, le resinose rosse; perciocchè nel mescuglio delle due polveri lo zolfo è elettrizzato resinosamente, e vitreamente il minio. Queste tracce son diversissime: le gialle son come coperte di fili divergenti, nell' atto che le rosse offrono de' dintorni tondeggianti.

Il buca-carta (*fig.* 341) presenta un piacevole fenomeno; ciascuna delle punte essendo posta in comunicazione con una delle armature della boccia, la scintilla scoppierà e la carta sarà penetrata da un buco alquanto più grande di quello di una spilla: dall' una e dall' altra banda osservasi intorno al buco un piccol orlo con filamenti sporgenti in fuori, come se il fluido fosse partito dal mezzo della carta per uscire per le facce di essa. Oersted spiega questo fatto, e molti altri dello stesso genere, supponendo che l' elettricità non soffra un moto di trasferimento ne'corpi, ma solo un moto di vibrazione per lo quale si compiono, intorno a ciascuna molecola, delle decomposizioni e delle composizioni successive; così il fluido vitreo che si presenta in *a* decompone i fluidi naturali delle molecole che

incontra, attrae il resinoso col quale si riunisce mercè una scintilla, repelle il vitreo, il il quale va a sua posta a decomporre il fluido naturale delle sussegnenti molecole, attraendo il resinoso per combinarvisi mercè una nuova scintilla, e respingendo il vitreo, e così appresso; in modo che vi son tante scintille per quante sono le molecole ponderabili: questa supposizione può rendersi sensibile facendo passare la scarica elettrica attraverso de' granelli di metallo infilzati nella seta e l'uno dall' altro separati.

Noi torneremo a ragionare di questa importante teoria, la quale sembra esser fermata da tutt' i fenomeni di elettricità chimica.

Il buco della carta non si fa ad eguale distanza dalle punte; ma nell' aria comune si trova sempre vicino alla punta resinosa, e nell' aria rarefatta sotto la campana della macchina pneumatica, se ne allontana per avvicinarsi sempre più alla punta vitrea. Di questo fatto scoperto da Tremery non si può render ragione.

Per bucare il vetro con la scarica elettrica, convien variare alquanto l' antecedente apparato; perciocchè è necessario allora di metterè all'estremo di una delle punte una goccia di un liquido conduttore, come d' olio per esempio, la quale tocchi immediatamente il vetro per uno spazio alquanto più grande.

Il buca-vetro è indicato dalla figura 340 (1).

I liquori spiritosi si accendono meglio con la boccia di Leida, che con la sola scintilla che si ha dal conduttore della macchina. Si può anchè accendere la bambagia imbrattata di quella polvere che si raccoglie dal *licopodio*, o pure di resina polverizzata.

Per mezzo della boccia di Leida si è tentato misurare la velocità con la quale il fluido elettrico si trasmette ne' corpi. La scarica elettrica passa istantaneamente per una catena di fili metallici isolati della lunghezza di una lega; queste esperienze furono fatte in Francia ed in Inghilterra dal 1745 al 1750. In questo tempo si cercò anche di osservare il passaggio dell' elettricità attraverso dell' acqua e del suolo asciutto o umido: un filo di metallo della lunghezza di molte lese, isolato sopra alcune asticciuole di legno molto secco, partendo da un dato punto andava ad immergersi con l'altro suo capo nel suolo, dopo di avere attraversato de' fiumi e de' terreni di varia natura: l'origine di questo filo comonicava con una delle armature della boccia, nell' atto che l'altro estremo comonicava col suolo; i fluidi non potenno congiungersi se non dopo di avere attraversato tutta la lunghezza del filo metallico, e tutta l' estensione del suolo e dell' acqua, dal secondo capo del filo fino al luogo delle osservazioni; e malgrado tanto spazio e tanti ostacoli, la scarica della boccia era istantanea, appunto come se fosse stata fatta con l'eccitatore comune. In un punto qualunque di questa lunga catena poteano accendersi i liquori spiritosi, ed era uno spettacolo molto maraviglioso il vedere l' alcool accendersi con un fuoco che aveva attraversato un fiume.

La *scossa* della boccia di Leida è vigorosa a segno da poter arrecare nocumento: essa passa per le braccia e pel petto quando, tenendo con una mano la pancia della boccia, se ne tocchi con l'altra il bottone. In questo caso le cariche deboli si fan sentire solo nel cubito, quelle un poco più vigorose fino al collo, e le cariche ancor più forti recan vivo dolore al petto. Per fare che la scossa passi tra due dati punti del corpo, basta porre delle armature su questi punti, vale a dire delle lamine metalliche; le quali poi si pongono in comunicazione con le armature della boccia.

Se molte persone formino la *catena*, dandosi la mano, e la prima tocchi la pancia della boccia e l' ultima il bottone, tutti avranno nello stesso tempo la scossa; le persone che stanno verso il mezzo la senton meno di quelle che stanno presso alla boccia. Si ebbe un tempo gran desiderio di sapere fin dove si estendesse questo potere dell'elettrico nel dare la scossa, e dopo di aver fatto de' saggi sopra molte persone disposte in cerchio, sen volle far pruova sopra un reggimento schierato, il quale è fama che fosse scompigliato ad un colpo.

Le *batterie elettriche* (*fig.* 331) sono unioni di molte bocce di Leida, o di molte giare le cui interne armature comunicano mercè alcune aste metalliche *t*, *t'*, *t''*, e le cui armatore esterne son del pari in comunicazione fra loro, imperciocchè nel fondo della cassa di legno *bb'*, sul quale esse sono ordinate, avvi una lamina di piombo. Volendo insieme caricare molte batterie, è mestieri far comunicare tra loro le armature interne, e le esterne col suolo; e per giudicare del grado di carica, si adopera il piccol elettrometro a pendolo (*fig.* 329), il quale si accomoda sopra i conduttori della macchina: da principio, e durante i primi giri del disco, il pendolo si tien quasi in

(1) Le voci *buca-carta* e *buca-vetro* sonosi qui usate per nominare i due strumenti a' quali i nostri fisici non han dato alcun nome.

quiete, perciocchè le batterie condensano tutto il fluido che si sviluppa; ma il pendolo a poco a poco s' innalza, e, da' diversi angoli di di deviamento di esso, si gindica de'varj gradi di sua tensione elettrica, e per conseguenza della tensione elettrica dell' interno delle batterie; perciocchè i gradi di tensione di queste sono in ragion di quelli del pendolo.

L'elettrometro ad ingranaggio (*fig.* 330 e 331) dà delle indicazioni più precise. Il ramo mobile *a* è un sottilissimo cannello di metallo terminato da una palla vuota alla parte inferiore, e al di sopra da un contrapeso, in guisa che esso è mobilissimo ed offre sempre la medesima resistenza; ha inoltre una ruota dentata, che ingrana con quella, quattro volte più piccola, di che è munito l' asse centrale, sul quale nel tempo stesso è montato l'ago; quindi l'angolo descritto dall'indice *b* sul quadrante *c* è quattro volte più grande di quello di deviamento.

Una batteria si può come una boccia di Leida lentamente o in un subito scaricare; ma è mestieri raddoppiare le avvertenze per non esserne colpiti. La grossezza del vetro delle giare e la tensione della macchina essendo le stesse, la forza di una batteria può essere misurata dall' estensione della superficie che si carica; 100 piedi quadrati condensano 100 volte più di elettricità che un piede solo, e un uomo assai robusto può solo reggere senza danno alla scossa proveniente da un piede quadrato,caricato con una macchina comune.

Descriveremo qui alcuni fenomeni più importanti, che si hanno mercè le grandi accumulazioni di elettricità.

Tutti i corpi cui si vuol dare il colpo della scarica van posti tra le braccia *b* . *b'* dell' *eccitatore universale* espresso dalla figura 335. Un braccio di esso comunica con l' esterno della batteria per mezzo della catena *e*; l'altro comunica con una catena *c'* che va a metter capo nella pallina isolata *b*: volendosi far passare la scintilla, si prende la pallina *b* per l'estremo del suo manico coibente e si avvicina tosto all'armatura interna della batteria; la scintilla uscirà da questa, ed i fluidi si ricomporranno in tutto il circuitò *b, c' b' b c.*

Un filo di ferro di parecchi pollici di lunghezza posto tra le braccia dell' eccitatore, sarà riscaldato da una debole scarica, arroventato da una più forte, e da una ancor più intensa sarà fuso, e ridotto in globetti, che sono scagliati intorno a molta distanza; che se ancor più vigorosa sia la scarica, il filo di ferro sarà convertito in vapori. Van-Marum con una poderosa macchina giunse a fondere un filo di 50 piedi di lunghezza. Si può parimente fonderlo nell' acqua, mercè lo strumento indicato dalla fig. 333; ma la lunghezza fusa è sempre minore, poichè nel breve momento della scarica, l'acqua toglie al ferro una considerevole porzione di suo calorico.

Una piccola striscia di foglia di stagno di 3 o 4 pollici di lunghezza può essere da una batteria comune volatilizzata; il vapore si ossida, e forma dei lunghi fili notanti nell' aria simili alle tele di ragno. Gli altri metalli posson del pari riscaldarsi, arroventarsi, fondersi, ossidarsi; ma prendendone della stessa lunghezza e dello stesso diametro, non si avranno da eguali cariche gli stessi effetti: quelli che sono men buoni conduttori, come il platino ed il ferro, sotto eguali dimensioni, presentano maggiori gli effetti del calorico di quel che non faccia l' oro ed il rame, che sono deferenti migliori.

I fili di seta indorati ci offrono un fenomeno singolare, il quale ci fa vedere con quanta prontezza l' elettrico sceglie le molecole deferenti. L' oro il quale copre questi fili è volatilizzato ed ossidato senza che il calorico giunga neppure a rompere la seta. Per rendere questa esperienza più sensibile, si pone sul filo un foglio di carta bianca, sulla quale, dopo la scarica, osservasi una traccia bruna. Con questo mezzo si può togliere l' indoratura da un libro o da un' altra superficie coibente non molto estesa.

Per mezzo di questa proprietà si possono fare le *stampe elettriche*: *dcpr* (*fig.* 336) è un ritaglio di carta sul quale sono incollate due strisce di foglie di stagno *f, f'*: questo da una parte vien coperto da una foglia d'oro, la quale tocchi con due de' suoi margini lo stagno; dall' altra parte si copre con un nastro di raso; e perchè queste parti meglio si tocchino si pone il tutto sotto lo strettojo *pp'* (*fig.* 337). Le due striscie di stagno essendo poste in comunicazione con le due armature della batteria, la scarica passando volatilizzerà l' oro, e per tutte le aperture del ritaglio passerà sul nastro dove farà una regolarissima impronta di color bruno.

Le forti cariche fanno una notevole impressione sulle masse metalliche. Priestley ha osservato che queste scariche ne fondono le superficie nel punto dove le colpiscono per attraversarle: se il metallo sia poco fusibile, si vedrà solo, dopo il passaggio della scintilla, un *cerchio di fusione* di una o due linee di diametro; ma se esso sia assai fusibile, siccome il piombo e lo stagno, si vedranno

intorno al cerchio centrale fino a tre *anelli di fusione* di una larghezza sensibile, concentrici, e separati l'un dall'altro per intervalli di circa una linea.

Quando la scintilla passa in un liquido, essa scoppia e splende come nell'aria; ed il liquido è quasi sempre spinto per ogni verso con gran forza.

Essa scoppia egualmente nella polvere da sparo e vi genera l'esplosione. Se ne può fare l'esperienza con piccole cartucce di due o tre linee di diametro, e di 15 o 20 linee di lunghezza: due fili di ferro penetrando i capi opposti della cartuccia vanno a terminare nel mezzo di essa ad una piccola distanza tra loro; la scintilla attraversando questo piccolo intervallo accende la polvere.

Passando una forte scarica a traverso d'una massa d'acqua, questa è respinta ad una certa distanza; se ne può fare l'esperienza con l'apparecchio dinotato dalla fig. 339.

Nei gas la scintilla genera una espansione sì pronta e si grande, che può lanciare una palla per mezzo del *mortaro elettrico*, il quale si vede nella figura 338. Kinnersley, che osservò la prima volta questo notabile fenomeno, inventò anche uno strumento per misurarne l'intensione: è questo un tubo di vetro chiuso ed armato ai due capi (*fig.* 342); la scintilla balena tra le due palline *b*, *b'*, ed un liquido che ascende nello stesso tempo nel tubo laterale *tt'* misura l'espansione. Questo strumento è conosciuto col nome di *termometro di Kinnersley*.

Ci vuol la scarica di una più poderosa batteria per bucare o rompere i corpi coibenti; una lastra di pietra della grossezza di parecchie linee è bucata come il vetro sottile; un cilindro di legno di 2 o 3 pollici di diametro può essere ridotto in ischegge da una scarica che passi secondo la direzione delle sue fibre.

La scintilla lascia sulla superficie di alcune sostanze una striscia luminosa che splende per alcuni secondi e talvolta per più di un minuto: questa specie di fosforescenza è rossa o violacea sulla creta; è verdastra sullo zucchero, sopra certi spati calcarei cristallizzati, e sulla pietra bigia di Fontainebleau.

Non è mestieri di usare batterie molto grandi per ammazzare uccelli, conigli, ed anche animali più grandi; essi muojon tosto, nè l'osservazione anatomica ha potuto ravvisare l'organo colpito: intanto dalle convulsioni ch'essi soffrono, quando la scarica, perchè debole, non giunge a fulminarli, si può argomentare che il sistema nervoso sia con gran violenza affetto.

206 *bis*. Knochenhauer ha fatto delle estesissime ricerche sulle leggi, secondo le quali la scarica delle batterie si distribuisce nei varii corpi conduttori, pe' quali può simultaneamente passare; sulle quantità di calore che si sviluppano in questi differenti conduttori, e sugli effetti di induzione che s'appalesano. I risultamenti ai quali egli è giunto sono soverchiamente complicati, ed anche forse dubbiosi in taluni punti, perchè io possa qui compendiarli: ma mi è sembrato utile l'indicare taluni degli strumenti da lui adoperati.

Per valutare le quantità d'elettricità, le quali costituiscono la carica d'una batteria ne isola, Knochenhauer, l'armatura esterna, e la fa comunicare col suolo per mezzo d'una boccia di Leida graduata (*fig.* 332); ammette egli che la carica della batteria sia proporzionale al numero delle scariche spontanee prodotte nella boccia; il che suppone che fra due sussecutive scariche, non vi abbia comunicazione elettrica alcuna tra il bottone dell'armatura esterna e quello della interna, ed è da dubitare che ciò non sia così, anche nell'aria secca e sotto la pressione ordinaria.

Pone quindi in opera due altri apparecchi, lo *scaricatore* (*fig.* 347) ed il *tonometro* (*fig.* 348). Il primo si compone di due colonne isolanti, sormontate da due palle di rame, l'una delle quali è munita d'un'asta *a*, e l'altra d'una vite *b*, terminate l'una e l'altra da sfere eguali *c* e *d*, le quali possono esser messe a varie distanze mercè il movimento della vite: una di esse è messa in comunicazione con l'armatura esterna della batteria, e con la interna l'altra. Il secondo apparecchio, il tonometro cioè, si compone anch'esso di due colonne isolanti sulle cui cime sono adagiati i sostegni di due sfere eguali x ed y. La colonna ov'è la sfera x è congiunta ad una lastra metallica, che muovesi con precisione tra due scanalature mercè la vite v; la colonna dunque muovesi con questa lastra e si può così valutare esattamente la distanza alla quale trovansi le due sfere x ed y.

Per studiare ora la distribuzione della corrente elettrica, si dispongono le sperienze sì come lo indicano le figure 350, 351, 352. In esse *c* e *d* rappresentano le sfere dello scaricatore; x ed y quelle del tenometro; *ci* il conduttore frapposto tra *c* e l'armatura interna della batteria; *ne* il conduttore frapposto tra y e l'armatura esterna.

Nella figura 350 si vede che la corrente può prendere una doppia direzione; può incaminarsi, cioè, secondo la linea continuata

dmtns, o secondo quella interrotta *dmxyn*; allora si cerca, per ogni distanza delle sfere *c* e *d* qual debba essere la distanza *xy*, perchè la scintilla si mostri nel tempo stesso nello scaricatore tra *c* e *d*, e nel tonometro tra *x* ed *y*; le distanze relative dipendono esse stesse dalle lunghezze di filo interposte tra *c* ed *i*, tra *n* ed *e*, e dalla lunghezza *mtn*.

Nella figura 351. a partire dal punto *m* si presentano tre vie alla corrente, cioè *mtn*, *mt'n* e sempre la linea interrotta *mxyn*.

Da ultimo nella figura 352, i conduttori son disposti pure altrimenti: tra i punti *t* e *p* v' ha due conduttori, *pnt*, *prt*, ai quali si danno delle lunghezze o delle resistenze relative differentissime, regolando sempre la distanza delle sfere del tonometro, perchè la scintilla appaja in pari tempo e nel tonometro e nello scaricatore.

La figura 349 rappresenta la maniera di termometro del quale si è servito Knochenhauer, per valutare il calore sviluppato dalla corrente delle batterie in date circostanze. È desso un cilindro di vetro pieno d' aria, la cui parte inferiore comunica con un tubo termometrico contenente alcool, mentre che la parte superiore è chiusa da una lamina di metallo, a traverso la quale passono, ad isolamento, due conduttori congiungenti un filo di platino, che vien riscaldato dalla corrente; la temperatura da esso comunicata all' aria del riserbatojo cilindrico è dinotata dal moto della colonna d' alcool.

SUPPLIMENTO 10.

Piatti o dischi coniugati del Volta. — I principî fondamentali dell' elettricità indotta ed attuata, come anche delle induzioni scambievoli ovvero della elettricità dissimulata, si ricavano da alcune sperienze fatte con due dischi o piatti come quelli dall' Autore innanzi descritti, i quali furono detti *dischi o piatti coniugati*.

Siano A e B (*Tav. agg. fig.* 2) due dischi metallici isolati, ognuno de' quali porti un elettrometro a quadrante. Si carichi il disco A di elettricità positiva, per esempio, in modo che il suo elettrometro segni una tensione che suppongo di 30°: si avvicini a questo disco l'altro B a poco a poco, in modo che le facce dove non sono gli elettrometri si riguardino e siano parallele; si vedrà tosto l'elettrometro del disco B elevarsi tanto più per quanto minore diviene la distanza che lo separa dal disco A, e quando questi dischi saranno giunti alla minore possibil distanza, senza che fra essi scoppii la scintilla, ambi gli elettrometri si vedranno segnare quasi gli stessi gradi, cioè 30 nel caso nostro. L'elettricità della faccia posteriore del disco B e quella del pendolo è positiva, cioè omologa a quella del disco A; quella poi della faccia anteriore è negativa. Se ora il disco B si allontani da A, si vedrà il suo elettrometro abbassarsi, ed esso tornare allo stato naturale; il disco A intanto conserva i suoi 30° gradi di elettricità positiva, non tenendo conto delle solite perdite per l'aria e pe' sostegni. Pongasi mo di nuovo il disco B per quanto si può vicino al disco A, e mentre ambi gli elettrometri segnano 30° di tensione, avviciniamo al disco B un conduttore non isolato; tosto balenerà una scintilla tra questo conduttore ed il disco B, ed entrambi gli elettrometri a un colpo si abbasseranno, ed i dischi sembreranno tornati allo stato naturale. Ma se gli allontaneremo l'uno dall' altro, gli elettrometri monteranno di nuovo fino alla primiera tensione di 30°, quella del disco A però sarà tuttavia positiva, mentre quella di B sarà negativa. Che se il disco B si fosse caricato direttamente di 30° di elettricità negativa e poi si fosse avvicinato al disco A carico di 30° di elettricità positiva, anche si sarebbero veduti i loro elettrometri abbassare, e sarebbesi avuta la dissimulazione, perchè il disco A avrebbe per induzione neutralizzata l'elettricità propria di B, e questo quella di A.

Se il disco A fosse stato caricato da un conduttore la cui tensione era anche di 30°; sarà impossibile il fare che da questo conduttore passi nuova scintilla sul disco A; ma se questo si trovi vicinissimo al disco B carico di 30° di elettricità negativa, allora, diminuendosi quasi del tutto la sua tensione, potrà dal conduttore ricevere nuova scintilla e riprendere la tensione di 30°, la quale per induzione si manifesterà anche sul disco B; quindi se da questo si faccia uscire una scintilla, mercè un conduttore non isolato, allora sparirà nuovamente la tensione, e però il disco A potrà ricevere altra scintilla dal conduttore elettrizzato, e così sussecutivamente, fino a che poi l' elettricità di A non si scarichi sopra di B. Ed ecco come l'elettrico si condensa. Da questi pochi fatti dipende la spiegazione di moltissimi fenomeni. Qui lo strato coibente è l'aria. Poneteci il vetro, ed avrete il quadro di Franklin, la boccia di Leida, ec. Noi non ammettiamo altro che uno smovimento del fluido unico riconosciuto nella nostra ipotesi, e i *dualisti* vogliono la separazione de' fluidi. Mi è piaciuto di additare il modo di fare l' esperienze dell' influsso per mezzo dei dischi coniugati del Volta, perchè questi potendosi allontanare ed avvicinare fra loro fan meglio vedere gli effetti delle induzioni.

Per fare un' applicazione dell' ultimo fatto innanzi descritto, prendasi una boccia di Leida, s' isoli e si accosti col suo uncino al conduttore della macchina a tal distanza che possa riceverne la scintilla. Quando dal conduttore saranno sul bottone della boccia passate due o tre scintille, non ve ne passeranno più; ma se si avvicini all' armatura esterna della boccia un conduttore non isolato, tosto si vedrà la scintilla passar da quella in questo, ed indi nuova scintilla passar dal conduttore nell' armatura interna della boccia. Con questo mezzo si possono caricare molte bocce, con quello stesso numero di scintille sufficiente a caricarne una sola, disponendole in guisa che il conduttore comunichi con l'armatura interna dalla prima, e l' esterna di questa con la interna della seconda, e così sussecutivamente.

Atmosfera elettrica — Da tutti questi fatti apparisce, che ogni corpo elettrizzato positivamente ha intorno di se uno spazio o sfera di azione, ove trovandosi de' conduttori che non abbiano elettricità propria vengono elettrizzati accidentalmente di elettricità omologa a quella del corpo anzidetto verso la lor parte posteriore, e di elettricità contraria verso la parte anteriore. Or questo spazio, o questa sfera di azione di un corpo elettrizzato, fu detta dai fisici *atmosfera elettrica*, che taluni credettero essere una diffusione del fluido intorno al corpo. Anche un corpo negativamente elettrico induce elettricità ne' conduttori ad esso avvicinati, come si può vedere adoperando i descritti piatti del Volta, e però anche esso ha la sua atmosfera elettrica.

Intorno a queste atmosfere molte cose scrissero il Canton ed il Beccaria; ma i loro giudiziosi pensamenti, essendo delle nude ipotesi, non possono arrecare alcun soccorso alla scienza, e però, meglio è partire dai fenomeni delle induzioni, come da fatti primi, e per essi andar rendendo ragione de' fenomeni, che ne dipendono. V. *Priestley*, *Histoire* ec. t. 2; *Beccaria*, *Elettricismo artificiale* p. 180 e seg.

Coloro che bramassero di acquistare idee più estese, de' varj fenomeni nascenti dalle induzioni, potranno consultare, il terzo volume del *Corso elementare di fisica* del signor Giuseppe Belli.

CAPO V.

DELLA LUCE ELETTRICA E DEL MOTO DE' CORPI ELETTRIZZATI.

207. ***Condizioni generali, per aver la luce dall' elettricità*** — Le maggiori cariche elettriche accumulate sopra i corpi o direttamente o per dissimulazione, non manifestan mai apparenze luminose, finchè vi sia equilibrio ed il fluido stia in quiete. Onde la prima condizione per avere la luce elettrica è il moto de' fluidi o la rottura del loro equilibrio. Questa condizione, che sempre è necessaria, non è poi sempre sufficiente; è mestieri anche che la tensione de' fluidi, dalla quale il lor moto si genera, abbia una forza considerabile. Per esempio, l' elettricità di una macchina comune non risplende di luce sensibile, quando per un filo metallico sen passa nel suolo; nell' atto che una macchina poderosa può circondare di un' atmosfera luminosa un filo di ferro di 50 piedi di lunghezza che comunichi il più perfettamente che sia possibile col suolo (Van-Marum, *Descrizione della gran macchina del museo di Teyler*). La tensione necessaria all' apparizione della luce dipende interamente dallo stato, dalla forma e dalla conducibilità del mezzo nel quale il fluido elettrico deve muoversi; talvolta le deboli tensioni danno luce brillante; altre volte le maggiori tensioni non danno la minima apparenza di luce.

208. ***Luce elettrica nell' aria e ne' gas sotto la pressione dell' atmosfera.*** — La distanza alla quale può slanciarsi la scintilla da un corpo elettrizzato, dipende principalmente dalla conducibilità del corpo, dall' ampiezza di sua superficie, e dalla grossezza dello strato elettrico che lo circonda; perciocchè la sola condizione perchè la scintilla scoppii è che la tensione elettrica vinca la pressione dell' aria. Ne' corpi di figura angolosa, questa condizione trovasi adempiuta anche per cariche molto deboli, e il fluido spontaneamente si spande, formando de' *pennacchi* di luce visibili nelle tenebre, ed i cui raggi divergenti hanno talvolta alcuni pollici di lunghezza. Nei corpi di forma tondeggiante è mestieri di poderose cariche per fare che la scintilla si scagli; ma se lor si presenti un conduttore che comunichi col suolo, questo eserciterà tosto una azione per influsso, i fluidi si smoveranno per effetto della conducibilità, si accumuleranno in ragione dell' ampiezza delle superficie, e la scintilla si vedrà spiccar fuori tostochè la pressione dell' aria sia vinta sopra uno de' corpi messi di ricontro. Una macchina è poderosissima quando può senza il soccorso de' conduttori secondari dar scintille che percorrono 20 o 30 pollici. A questa distanza la luce elettrica, forma una striscia di fuoco piegata a zigzag, siccome il lampo.

Per moltiplicare le scintille in una macchi-

na elettrica basta moltiplicare le interruzioni ne' conduttori pei quali il fluido passa nel suolo. Da ciò dipendono tutti i giuochi che si fanno con la luce elettrica.

Con granelli di metallo infilzati nella seta e mantenuti da nodi ad una distanza di pochi millimetri l' uno dall' altro, si posson comporre delle catene, delle ghirlande o delle figure le quali sembrano splendenti di fuoco, durante tutto il tempo in cui si dà moto alla macchina, con la quale questi comunicano: tra l' ultimo ed il penultimo granello la luce apparisce nell' istesso tempo che tra il primo ed il secondo, tanto è subito il passaggio dell' elettricità in tutta la lunghezza della catena.

I *vasi scintillanti* (*fig.* 303) si fanno con piccoli rombi di foglia di stagno incollati sul vetro in modo che le lor punte sieno molto vicine; la scintilla baleuerà nello stesso tempo tra tutt' i rombi, ed il vase sembrerà illuminato in tutta la sua lunghezza.

I *quadri scintillanti* presentano all' occhio delle figure più minute e più varie; essi si fanno incollando sopra una lastra di vetro comune delle piccole striscie di foglie di stagno (*fig.* 302) le quali formano un nastro continuo da *a* fino a *z*; dopo con una punta si tolgono tutte le parti di queste strisce che trovansi sul dintorno della figura che si vuol rendere visibile. Ciascuna di queste interruzioni farà vedere una scintilla, quando il fluido della macchina passa da *z* fino ad *a*, o da *a* fino a *z*. In questa guisa si può esprimere con molta precisione ogni maniera di figure: era questo il gran divertimento degli studiosi dell' elettricità del secolo passato.

Il *quadro magico* è diversamente ordinato: una delle sue superficie è coperta da una foglia di stagno e l' altra da una specie di vernice contenente molti pezzettini di oro; l' elettricità si accumula per dissimulazione, e quando la scintilla scoppia, veggonsi sulla superficie inverniciata serpeggiar per ogni verso delle piccole striscioline di fuoco (1).

I fenomeni delle punte debbono essere anche osservati nelle tenebre: quando si pongono in comunicazione coi conduttori di una poderosa macchina, si vedono de' luminosi pennacchi simili à quello espresso nella figura 305; all' estremo della punta osservasi un sol getto di fuoco, il quale poco appresso dividesi in una infinità di piccoli fili luminosi.

L' elettricità resinosa non genera mai pennacchio così allungato e divergente come quello dell' elettricità vitrea; è questo singolare fenomeno degno di attenzione, perciocchè sembra darci un segno proprio per distinguere i due fluidi elettrici (2).

Le punte che trovansi in comunicazione col suolo mostrano il pennacchio, anche quando trovansi per molti piedi lontane da' corpi elettrizzati.

Se sopra una ritaglio di drappo o di seta coperto di polvere metallica, o strofinato con sottili foglie d' oro, si faccian cadere scintille alquanto vigorose, si osserveranno fenomeni simili a quelli del quadro magico. La luce apparirà nello stesso tempo in molti punti, diramandosi per ogni verso sulla superficie del drappo.

Le punte più sottili de' corpi conduttori e più avvicinate, presentano una specie di *fosforescenza continua*: le sottilissime lamine d' oro, per esempio, incollate sul vetro, sul cuojo, sul legno, sembrano illuminate in tutto il tempo in cui sono attraversate dall' elettricità, e sopra alcuni corpi coibenti la fosforescenza dura per alcuni momenti dopo il passaggio del fluido (3).

Coteste apparenze luminose che si hanno con la elettricità delle macchine, sono una debolissima, ma nello stesso tempo molto giusta immagine di parecchi fenomeni che osserviamo nel cielo e sulla terra durante i temporali. Esse ci serviranno di principî per ispiegare nella meteorologia tutte le forme della luce elettrica, siccome il lampo, le fiammelle che appariscono sulle cime degli alberi delle navi o sulle aste delle alte torri, e molte altre meteore che furono un tempo obbietti di spavento e di superstizione.

209. *Luce elettrica nel vuoto, ne' vapori, e nei gas rarefatti*. — Se prendasi un tubo di 8 o 10 piedi di lunghezza, nel quale si faccia il vuoto, e con un capo si ponga in comunicazione con una macchina comune, e si faccia con l' altro comunicar col suolo, si vedrà tutto il suo interno rischiarato da viva luce. L' elettricità trovando appena una debole resistenza nell' aria, si spande per largo per tutta

(1) Spesso chiamasi anche quadro magico il così detto quadro Frankliniano; il quale consiste in una lastra di vetro armata, dalla quale si hanno tutti i fenomeni della boccia di Leida. Invece di vetro si potrebbe anche far uso di lamina di mica, o talco di Moscovia, le quali essendo più sottili potrebbero in molti casi più utili ritornare (*Gehler's Physik. Wörterb.* art. *Flasche*).

(2) Le punte dalle quali esce l' elettricità resinosa, ovvero, secondo la nostra ipotesi, che assorbono il fluido elettrico, non mostrano il fiocco o pennacchio, ma la *stelletta*.

(3) Il Becquerel ha fatto non ha guari nuove sperienze sul proposito *Institut*, 1838.

l'ampiezza del tubo, e passa nel suolo facendo ravvisare nel suo tragitto de' fili luminosi. Quando le comunicazioni sono bene stabilite, la luce sembra fissa ed uniforme; ma se si avvicina alla parte esterna del tubo un conduttore, essa correrà verso di questo acquistando in pari tempo maggiore vivezza. Accade quasi sempre che in un tubo il quale sia stato adoperato per queste esperienze si veggan come de' lampi, anche molto tempo dopo che sia stato tolto dalla macchina.

Per osservare le diverse apparenze della luce elettrica nell'aria diversamente rarefatta, si adopera lo strumento che vedesi nella *fig.* 304: è questo un vase di vetro avente la figura di un ellittoide, il quale un tempo chiamavasi l'*uovo filosofico*: ad uno de' suoi capi v' ha un tubo con chiavetta, e all'altro un filo terminato da bottoni, il quale passa entro un pezzo cilindrico bucato e foderato di pelle. Quando il vuoto è fatto al meglio che si possa, l'elettricità passerà liberamente riempendo di luce tutta la capacità del vase; facendovi entrare un poco d'aria, la luce si mostrerà meno diffusa, e stringendosi formerà tra i due bottoni *b* e *b'* degli archi di color porporino; maggiore quantità di aria renderà ancor meno diffusa la luce, e così fino al punto in cui il fluido non può altrimenti passare dall'un bottone all'altro, se non sotto la forma di scintilla.

Siccome con le migliori macchine pneumatiche noi non possiamo fare il vuoto se non fino a due millimetri, così nelle antecedenti esperienze rimane ancora una quantità di aria, la quale può esercitare un potere sulla formazione della luce e sul colore della stessa. Il vuoto barometrico essendo il più perfetto che si possa avere, venne curiosità di vedere se il passaggio dell'elettricità attraverso dei rari vapori del mercurio genererebbe ugualmente de' fenomeni luminosi. Fin dall'anno 1660 avea il Picard osservato un barometro diventar luminoso, agitandolo nelle tenebre; dopo si è conosciuto esser questo l'effetto dell'elettricità che sviluppasi mercè lo strofinio del mercurio con le interne pareti del tubo; da ultimo Cavendish immaginò di fare un *doppio barometro*, in guisa che l'elettricità comunicate ad un de' pozzetti dovesse attraversare il vuoto per andarne ad uscire per l'altro pozzetto, e diffondersi nel comune ricettacolo (*fig.* 306). In questo vuoto più perfetto dell'antecedente l'elettrico mostra gli stessi fenomeni: esso riempie di luce tutto lo spazio che attraversa, e si vede che bastano debolissime tensioni per far che passi dall'una all'altra delle cime delle colonne barometriche.

I colori della luce elettrica variano moltissimo, e le mutazioni che presentano dipendono dalla forza della scintilla e dalla pressione del gas per lo quale passa; ma pure vi son de' gas e de' vapori i quali, posta la stessa forza e la stessa pressione, sembran dare in preferenza delle tinte rossastre, nell'atto che altri le danno gialle, turchine o violacee.

210. *Cagione della luce elettrica*. — Alcuni autori han creduto che il fluido elettrico, nell'aprirsi per forza un passaggio attraverso de' corpi, li comprimesse fino a renderli luminosi; così, secondo questa ipotesi, i vapori del mercurio nel vuoto barometrico sarebbero spinti e compressi con tanta forza, da sviluppare calorico o luce. Non vi son fatti appropriati a dichiarar falsa o anche insufficiente questa sentenza.

Frattanto v' ha un'altra ipotesi che al presente è più generalmente ricevuta, e che più verisimile ci sembra; essa par che fosse la prima volta ideata da Ritter, ed è stata dopo sviluppata da molti valentuomini, specialmente da Davy, Oersted e Berzelius. Secondo questa ipotesi tutti gli atomi della materia ponderabile sarebber come gli elementi tra i quali si eseguono tutte le separazioni e riunioni elettriche. Gli atomi avrebbero primitivamente l'uno o l'altro de' fluidi: gli uni che diconsi *elettro-positivi* avrebbero originariamente il fluido positivo o vitreo; ed il fluido negativo o resinoso gli altri i quali diconsi *elettro-negativi*: i primi circondati da fluido neutro attrarrebbero il fluido negativo, e gli altri al contrario il fluido positivo, riducendosi in tal guisa gli uni e gli altri allo stato naturale. Posto ciò, figuriamoci un sol filo di atomi elettro-positivi o elettro-negativi, e l'uno de' fluidi che si presenti per percorrerlo, egli è chiaro che tosto si appaleseranno tante piccole scintille per quanti sono gli atomi, siccome presso a poco accade alla catena di granelli metallici della quale poco fa discorremmo; per molti fili di atomi il fenomeno sarebbe lo stesso, e nel vuoto del doppio barometro gli atomi sparpagliati del vapore del mercurio sarebbero la vera cagione della luce che si osserva; nel vuoto assoluto finalmente non si sa quello che accader dovrebbe, perciocchè il fluido neutro essendo omogeneo e senza interruzione, non si potrebbe dire alcuna cosa degli effetti che ne seguirebbero, nulla sapendosi della maniera di unione de' due fluidi dai quali è composto.

Quantunque questa ipotesi sembri appoggiata a molti fatti conosciuti, pure gioverà fare nuove sperienze, ed invece di considerarla

come vera, tenerla come un mezzo per rintracciare la verità.

211. *Cagione del moto de' corpi coibenti elettrizzati.* — Sembra che da una distanza qualunque non siavi alcuna attrazione o alcuna affinità tra il fluido elettrico e la sostanza dei coibenti, perciocchè tutti questi corpi perdono nel vuoto la loro elettricità. Onde se noi considereremo due palline di gomma lacca, per esempio, cariche entrambe della stessa elettricità ed avvicinate alquanto, la loro forza che le spingerà sarà la repulsione di tutte le molecole del fluido da cui sono esse circondate; l'effetto immediato di questa forza sarebbe dunque quello di allontanar queste molecole, e per ogni verso disperderle, se potessero liberamente muoversi. Per esempio se le due palline fossero nel vuoto, si terrebbero immobili, nell'atto che la loro elettricità ubbidendo alla propria repulsione si diffonderebbe sino a'confini dello spazio; ma sospeso in mezzo all'aria, che è un corpo coibente, il fluido che lo circonda è trattenuto da tutte le parti, o per meglio dire trova esso una resistenza da vincere. Quelle di tali molecole che si appoggiano sull'aria, non posson muoversi senza spinger questa innanzi; e quelle che si appoggiano sulla distanza delle palline, per potersi muovere è mestieri che spingan le prime, le quali son da riguardare siccome un ostacolo che si oppone al loro moto. Per questo doppio effetto le palline sono poste in moto e si allontanano acambievolmente.

Per rendere il fenomeno più sensibile si potrebbe immaginare che le palline di gomma lacca, dopo di essere state elettrizzate, si fosser coperte con uno strato di una sostanza isolante, in modo che il fluido che le circonda si fosse trovato come rinchiuso tra questi due coibenti. Allora è chiaro che tutte le azioni repulsive delle molecole elettriche si trasmetterebbero immediatamente alle molecole ponderabili, per effetto della resistenza passiva che queste opporrebbero. Lo strato d'aria che circonda i corpi fa appunto le veci di questo strato coibente.

Nello stesso modo si dimostra che palline cariche di fluidi contrari debbono avvicinarsi ed attrarsi, per lo sforzo che fanno le molecole di questi fluidi per riunirsi.

Lo stesso ragionamento può applicarsi a tutti i corpi coibenti sia qualsivoglia la loro forma; ed è chiaro che se un corpo coibente preso nello stato naturale non è mai attratto o repulso da un corpo elettrico, ciò è perchè i suoi fluidi non essendo decomposti per influsso e l'un dall'altro separati, esso soffre due contrarie azioni, l'una attrattiva, l'altra repulsiva, che essendo ognora eguali si distruggono.

212. *Moto de' conduttori elettrizzati.* — Abbiamo altrove notato che l'elettricità nel suo stato di equilibrio sopra un corpo conduttore forma uno strato di una certa spessezza, il quale ha due superficie l'una che riguarda l'aria circostante, e l'altra libera verso la sostanza del corpo. Le molecole della superficie libera non possono mai da se sole imprimer un moto alla materia ponderabile, perciocchè esse possono agevolmente muoversi in quella, senza incontrare sensibile resistenza. Tutt'i moti dunque de' corpi conduttori elettrizzati derivano dalle diverse pressioni che il fluido esercita contro l'aria o generalmente contro gl'invogli coibenti che limitano le loro superficie; conciossiachè si può sempre assomigliar l'aria che tocca un corpo conduttore ad un invoglio coibente che fosse ad esso unito. Ciò posto, se ci figuriamo delle sfere deferenti, egli è chiaro che caricate della stessa elettricità si respingono, specialmente con le parti della loro superficie che sono più lontane l'una dall'altra, nell'atto che caricate di elettricità contraria si attraggono specialmente con le parti più vicine; nè poi è da credere che le molecole della superficie libera non prendano alcuna parte alla generazione del fenomeno, perciocchè esse son mantenute nel luogo che occupano da forze e da repulsioni contrarie, le quali prendono il loro appoggio sopra lo strato d'aria circostante.

Un corpo conduttore allo stato naturale è sempre attratto da un corpo elettrizzato; perciocchè i suoi fluidi essendo sempre separati per influsso; e quello di nome contrario essendo sempre recato nella parte più vicina, l'attrazione sopra di questo è sempre più efficace della repulsione sopra dell'altro che trovasi più lontano.

213. *Moto generato dallo sgorgare del fluido elettrico:* — Sopra un perno deferente *cp*, che comunichi con la macchina (*fig.* 313) si pone in bilico un piccolo filo di metallo *tt'*, i cui capi estremi siano aguzzati e curvati in versi contrari: tostochè si fa girare la macchina, si vedrà questo piccolo ordigno detto *arganello elettrico* prendere un velocissimo moto di rotazione, come se gli estremi delle punte fossero fortemente respinte: lo stesso fenomeno avviene con arganelli a più aste, e quando si sta fra le tenebre si osservan durante il moto de' pennacchi di fuoco che escono da ciascuna punta. L'elettricità resinosa e la vitrea danno una differenza per rispetto alla luce, ma non ne danno alcuna in quanto al

moto. Questa piacevole rotazione spiegasi nel seguente modo:

Il fluido elettrico sparso sull' interna superficie delle aste dell' arganello, esercita dovunque una pressione sull' aria circostante, siccome l' acqua e gli altri fluidi ponderabili premono in tutti i punti del vaso che gli contiene. Se il fluido elettrico non trovasse alcuna uscita, le opposte pressioni sarebbero sempre uguali, e l'ordigno resterebbe in quiete: ma tostochè esso sgorga per una punta, non v' ha più pressione sull' orificio di uscita, e la pressione che si esercita sul punto opposto genera il moto per un vero rinculamento, perfettamente simile a quello che si ha nell' arganello a gas o nell' arganello idraulico (1).

214. *Moti generati da una subita decomposizione.* — Figuriamoci una sfera deferente di rame, per esempio, la quale per mezzo di un sottilissimo filo comunichi col suolo, e stia appoggiata sopra un piano coibente indefinito, dove essa sia ritenuta dal suo peso; figuriamoci che al di sopra di essa ad una certa distanza siavi un corpo atto a ricevere o a conservare le più forti cariche elettriche. Egli è chiaro che se la sfera sia piccolissima, sarà per l' attrazione portata in alto, e malgrado il suo peso correrà sulla superficie del corpo che la muove per influsso. Ma egli è chiaro egualmente che se il suo diametro ed il suo peso si rendano maggiori, si giungerà ad un termine in cui il potere elettrico sarà insufficiente ad inalzarla; la scintilla baleneràtra essa e il corpo elettrizzato che la tira, senza che ne sia in verun conto mossa, presso a poco in quella guisa che la scintilla parte dai conduttori della macchina, senza che questi siano tirati o smossi sopra i loro sostegni.

Frattanto si osservano effetti del fulmine che sembrano opporsi a questo principio: si videro alle volte delle grandi masse trasportate alla distanza di molte centinaja di passi, e specialmente de' pezzi di metallo svelti dalle loro congiunture con uno sforzo equivalente a molte migliaja di chilogrammi. Questi fenomeni sembrano dipendere da una differenza nella separazione de' fluidi naturali mercè di lente o subite azioni. Nel primo caso la conducibilità basta allo spostamento dei fluidi, ed essi hanno il tempo di ridursi e disporsi alla superficie, dov' esercitano contro l' aria una pressione che è tosto capace di respingerla: nel secondo caso tutti gli atomi della massa soffrono nello stesso tempo una subita decomposizione de' loro fluidi naturali; essi son presi con tanta violenza, che la disposizione richiesta dalla legge di equilibrio non si può in sì breve tempo eseguire, e le masse son così trasportate da forze molto più grandi di quelle che potrebbero trovare il lor punto di appoggio verso l' aria.

CAPO VI.

ELETTRICITA' SVILUPPATA DALLA PRESSIONE E DAL CALORICO.

215. Noi abbiamo veduto che due superficie siano quali si vogliano si elettrizzano per istrofinio, l' una prendendo il fluido vitreo, l' altra il resinoso; abbiamo del pari veduto, la tensione dell' elettrico che si eccita in questi dipendere dalla natura de' corpi, dallo stato di loro superficie, e dalla loro temperatura. Ma questa cagion meccanica non è poi la sola che possa risolvere e separare i fluidi; in certi casi i cambiamenti di pressione e di temperatura possono anche eccitare elettricità.

216. *Elettricità sviluppata per pressione.* — Sopra un taffettà coperto di gomma si ponga un disco di metallo, indi si tolga per mezzo di un manico isolante, dopo di averlo alquanto premuto, e si troverà elettricità resinosa sopra questo disco, ed elettricità vitrea sul taffettà. Da questa esperienza, fatta la prima volta da Libes, par che non si possa conchiuder nulla, imperciocchè l'adesione che si ha tra la superficie del metallo e la viscosa superficie della vernice genera un effetto molto analogo allo

(1) Il signor Aime ha dimostrato erronea questa spiegazione, la quale era generalmente tenuta per vera: un ago piegato ad S, coperto di vernice fuorchè alle punte, e sospeso orizzontalmente ad un sottilissimo filo metallico entro la campana della macchina pneumatica, non gira quando, essendo il filo in comunicazione col conduttore della macchina elettrica in azione, siasi fatto il voto nella campana, e pure l' elettrico si vede uscire per le punte, osservandolo nel buio, ed il moto dovrebbe essere più facile per la mancanza dell' ostacolo dell' aria. Onde pare che il fenomeno derivi piuttosto dalla forza repulsiva dell' aria elettrizzata dal fluido che esce dalle punte, tanto più che è stato dallo stesso sperimentatore conosciuto che la rotazione si ha ancora tenendo l' arganello immerso in un liquido coibente, nell' atto che manca in un liquido deferente. Così, per esempio, si ha nell' olio e non nell' acqua.

Parecchi dubbi si potrebbero anche muovere contro la maniera onde l' Autore rende ragione de' moti de' corpi elettrizzati, avendo i fisici molto fantasticato sopra questa materia; ma mi restringo solo ad avvertire i giovani, quasi sempre di troppo confidente ingegno, a non tenere come assolutamente vere queste spiegazioni, ma come ragionamenti fondati sopra ipotesi e però soggetti a dileguarsi al lume di nuove esperienze.

strofinio. Ma Haüy, è giunto a sviluppare l'elettricità in un gran numero di corpi a superficie lisce e forbite, e in casi tali che il fenomeno deve riferirsi alla pressione e non allo strofinio. Un pezzo di spato calcareo, per esempio, a facce parallele, essendo premuto per un istante fra le dita, si carica sensibilmente di elettricità vitrea: avviene la stesso del topazio, del fluato di calce, della mica, dell'aragonite, del quarzo, e di parecchie altre sostanze: ed anche in questo caso la specie di elettricità della quale questi si caricano dipende dalla natura di quelli che li premono. Haüy ha scoperto in pari tempo una singolare proprietà de' cristalli elettrici per pressione; cioè la facoltà ch' essi hanno di conservare la loro elettricità per molte ore, e spesso anche per più giorni. Il carbonato di calce è sotto questo aspetto la principal sostanza: esso ha tal *forza conservatrice*, che dopo di essere stato premuto per un momento, in capo di 11 giorni dà ancora sensibili segni di elettricità (*Annales de Physiq. et de Chimie* t. 5.). Da questa proprietà dipende la formazione dell'ago elettrico d'Haüy, rappresentato nella *fig.* 314: esso è in tutto simile all' ago innanzi descritto, con questa sola differenza, che ad uno degli estremi invece del globetto metallico vi si trova una piccola lamina di carbonato calcareo *cc'*, che si elettrizza stringendola tra le dita; questo elettroscopio, conservando molto bene la sua forza primitiva, è uno de' più comodi per paragonare approssimativamente le tensioni elettriche de' varî corpi che se gli avvicinano. Onde la facoltà di sviluppare l' elettrico con una data pressione, quella di caricarsi dell' uno piuttosto che dell' altro fluido, e quella di conservarlo per un tempo più o meno lungo, sono altrettanti segni i quali possono essere utili a distinguere e ad ordinare i cristalli.

217. *Dell'elettricità che si sviluppa per mezzo del calorico.* — La turmalina ha la proprietà di attrarre e di respingere i corpi leggieri: nell' Indie, e specialmente nel Ceylan, dove v' ha copia di siffatto minerale, si dilettano da molti secoli con questa proprietà, presso a poco come ai tempi di Platone dilettavansi i Greci delle attrazioni della calamita. Un fenomeno così singolare non potea sfuggire all' attenzione de' viaggiatori o anche dei commercianti. Gli Olandesi fecero conoscere le turmaline in Europa, e da un centinajo d' anni le proprietà elettriche di queste tengono occupate le menti dei fisici. Ecco i risultamenti generali scoperti da Canton, Wilson, Priestley, Bergmann, Epino ed Haüy.

1°. Quando una turmalina è elettrica, essa presenta sempre verso gli estremi del suo asse due poli contrarî, mostrando nell' uno elettricità vitrea, nell' altro elettricità resinosa, e nel suo mezzo non si ha alcun segno di elettricità. I fluidi elettrici che sviluppansi nella turmalina son dunque ripartiti quasi come i fluidi magnetici, renduti liberi in una calamita cilindrica o prismatica.

2°. Una turmalina spezzata per traverso mentre trovasi elettrica, presenta in ciascuna delle sue parti, disposte per lo stesso verso, de' poli primitivi; altra notevole somiglianza tra il fluido elettrico delle turmaline ed il fluido magnetico delle calamite.

Era necessario indicare queste due leggi generali della ripartizione de' fluidi nelle turmaline, per comprendere in quali casi sviluppasi l' elettricità nelle medesime, e le singolarità che presentano.

3°. Per ogni turmalina vi son due termini di temperatura entro i quali riduconsi tutti i fenomeni elettrici; al di sopra del termine superiore, e al di sotto dell' inferiore, la turmalina si comporta come ogni altro corpo, non mostrando più *elettricità polare*. Questi termini sembrano che sieno tra 10° e 150°; essi sono generalmente poco diversi per le turmaline della stessa dimensione, ma variano con le lunghezze.

4°. Tra questi termini, quando una turmalina regolarmente si riscaldi, cioè in guisa che riceva presso a poco lo stesso riscaldamento in tutti i punti di sua superficie, i suoi poli elettrici cominciano ad apparire, il vitreo da una parte, il resinoso dall' altra, e restano così in tutto il tempo in cui la temperatura si eleva.

5°. Una turmalina avendo i suoi poli per riscaldamento, se regolarmente si raffreddi perderà tosto i suoi poli per mostrarli nuovamente scambiati di luogo, il vitreo mostrandosi là dove era il resinoso, ed al contrario; e questi poli di raffreddamento opposti ai primi si conservano in tutto il tempo in cui la temperatura si abbassa.

6°. La polarità sembra dipendere dal cambiamento di temperatura, in guisa che ad una temperatura data può una turmalina aversi in tre stati diversi, cioè: allo stato naturale, se si è tenuta per lungo tempo a questa temperatura; coi suoi poli di riscaldamento, se riscaldandosi vi è giunta; o coi suoi poli di raffreddamento, se vi è giunta raffreddandosi.

7°. Haüy ha qualche volta notato un rovesciamento di poli, durante l' elevazione di temperatura, ed un rovesciamento opposto,

durante il raffreddamento; questi fenomeni, che per altro non accadono sempre, potrebbero nascere da una differenza di temperatura tra gli strati della superficie e quelli del centro.

8°. Una turmalina riscaldata o raffreddata soltanto da uno dei suoi estremi, sembra avere per qualche tempo una sola elettricità in tutta la sua lunghezza; ma siccome veggonsi sempre le due elettricità svilupparsi nello stesso tempo in tutti gli altri fenomeni elettrici qualunque essi sieno, è naturale il supporre, che in questo caso di apparente eccezione, i due fluidi si trovino inegualmente ripartiti nella lunghezza o nella grossezza della turmalina, e perciò non atti a poter essere agevolmente ravvisati.

Per verificare tutte queste leggi dell' elettricità della turmalina, alcuni osservatori, siccome Priestley, la facean riscaldare e raffreddare, tenendola sospesa ad un filo di cotone, e Haüy l' appoggiava sopra un piccolo strumento espresso nella figura 312.

V' ha un gran numero di cristalli, i quali presentano proprietà elettriche analoghe a quelle della turmalina (1).

SEZIONE TERZA

ELETTRO-MAGNETISMO.

CAPO PRIMO

GALVANISMO E PILA DI VOLTA.

218. *Scoperta del magnetismo.* — Nel 1789 Galvani medico e professore a Bologna osservò un singolare fenomeno: avendo avuto occasione di preparare una rana per varî obbietti di esperienze, egli per caso le sospese ad un balcone di ferro per mezzo di piccoli uncini di rame, i quali passavano tra i nervi lombari e la spina dorsale; la rana così disposta, morta e mutilata soffriva delle vive convulsioni. Un osservatore volgare avrebbe facilmente immaginata una speciosa spiegazione, e con l' animo soddisfatto sarebbesi rivolto ad altre cose. Galvani fu men precipitoso ne' suoi giudizi; dotato di penetrante attenzione e di rara sagacia, intravide in questo fenomeno un nuovo principio donde derivò questo secondo ramo della fisica, ancor conosciuto col nome di *Galvanismo*. Egli tosto si avvide che le rane tagliate, scorticate e sospese, siccome testè dicevamo, non soffrono delle permanenti convulsioni: affinchè le loro membra si scuotano è mestieri che il vento o altra accidentale cagione faccia sì che i muscoli tocchino l' asta di ferro cui è sospeso l' uncino di rame. Questa condizione è assolutamente necessaria, siccome ognuno può rendersene certo con l'esperienza: si prenda una rana viva, se le mozzi il capo, si scortichi destramente e passando la punta della forbice sotto i due nervi lombari, i quali compariscono siccome fili bianchi dall' uno e dall' altro lato della colonna vertebrale, con due colpi si taglino le due o tre vertebre inferiori; in tal modo i nervi lombari resteranno scoperti; e solo per mezzo di essi le membra inferiori della rana resteranno unite alle vertebre superiori; un filo di rame, il quale passi tra i due nervi e li tocchi, si aggrappi ad un filo di ferro curvato e lungo a sufficienza da poter toccare le giunture ed i muscoli. Ad ogni toccamento le gambe si scuotono, e questa mezza rana morta sembra rivivere e saltare. Questi effetti possono riprodursi anche dopo qualche ora; ma il più delle volte le convulsioni tosto infievoliscono, e dopo 20 o 30 minuti si osservan solo delle leggiere palpitazioni nella fibra de' muscoli (2).

Ecco un fatto regolare, costante e bene specificato, le cui condizioni son note, e che può essere a placimento riprodotto. Nel fer-

(1) L' Autore nella 2a edizione, dopo queste parole, notava tutt' i pretesi cristalli termoelettrici, citando una memoria di Brewster stampata nel giornale di Edimburgo; ma tutti questi cristalli, secondo fu sperimentato anche dal professore Pinociani, non mostrano elettricità polare, ma danno solo de' deboli segni di elettricità negativa, e ciò, secondo dice il citato fisico in una sua lettera indiritami, per effetto di evaporazione o per altro. «Bensì, continua il dotto mio amico, la proprietà » della turmalina trovo ne' cristalli di zucchero, » come ho da gran tempo osservato, e questi hanno quella diversità di conformazione che secondo Haüy (e Pouillet) si collega col termoelettricismo; la quale osservazione però sarebbe vera » pochissime volte se sussistesse quella virtù in » tante sostanze » E queste osservazioni del chiarissimo fisico italiano si accordano con quelle fatte dopo dal signor Becquerel.

(2) Per preparare la rana si può prima scorticarla incominciando dal piede, indi mozzarle la parte anteriore con tutta la pancia, lasciando solo le cosce e la spina dorsale, e poi troncare le vertebre lombari, salvandone i nervi. Si può anche in una sola operazione togliere la pelle e le parti inutili all' esperienza, siccome io soglio praticare. Ma in qualunque modo si prepari la rana, bisogna usare la diligenza di non imbrattare di sangue le membra che servono all' esperienza.

mare questo punto fondamentale Galvani ha aperto una strada, e distinto le convulsioni delle quali si tratta da quei moti vaghi e convulsivi che spesso veggonsi ne' rettili e nei pesci, molto tempo dopo di averli mutilati. Preoccupato Galvani da qualche ipotesi intorno ad un fluido nervoso o vitale, non istette molto a dare una spiegazione del fenomeno, la quale calzasse con le sue idee: le convulsioni della rana, egli disse, sono eccitate da un fluido che passa dai nervi ai muscoli per mezzo della comunicazione esterna che si pone tra essi; questo fluido sta ne' nervi, esso attraversa l'arco conduttore, cioè l' uncino ed il filo di ferro; e va tosto a scaricarsi sopra i muscoli, generandovi delle contrazioni presso a poco come farebbe una scarica elettrica.

Questo fluido novello fu detto *fluido galvanico*, e i corpi organizzati furon guardati per rispetto a questo fluido siccome bocce di Leida, di cui i muscoli ed i nervi facean le veci di armature.

Il grido di questa scoperta giunse tosto in Alemagna, in Francia, in Inghilterra; dovunque l' esperienze si ripetevano e si variavano; il fenomeno stesso grande maraviglia destava; ma la speranza di ritrovare ne' corpi animali un fluido sottile, un principio di vita, aggiungeva ancor nuova brama alla operosa curiosità de' dotti. Queste idee altronde venivano in una stagione di grandi scoperte e riforme, onde tutti gli animi erano in moto, e quasi trasportati dal diletto della novità.

Si ravvisò tosto una grande analogia tra il fluido galvanico e l' elettrico; imperciocchè non si hanno mai le convulsioni nelle rane se si facciano comunicare i nervi ed i muscoli per mezzo di un corpo cattivo conduttore dell' elettricità. Nello stesso tempo il fenomeno prendea una grande estensione, imperciocchè esso manifestavasi nella maggior parte degli animali. Spesso non è necessario scoprire i muscoli ed i nervi per avere effetti sensibili; imperciocchè ponendo un pezzo di rame sulla lingua ed un pezzo di ferro al disotto, sentesi una contrazione ed un sapore acido o alcalino nel momento in cui i due pezzi si toccano; v' ha anche delle persone molto sensibili le quali veggono in quel tempo uno splendore innanzi agli occhi (1).

Ogni ipotesi è buona quando per essa si fanno delle scoperte, e l' ipotesi del Galvani ebbe per un certo tempo il suo successo; ma per renderla feconda era mestieri porre alcune vaghe considerazioni ed alcuni dati mal fermi; era mestieri inviluppaisi in certe intrigate quistioni, risguardanti le funzioni vitali ed i misteri dell' organismo. Queste quistioni, continuamente agitate fra gli uomini, e sempre insolubili, incominciavano ad essere un' altra volta in voga; i migliori ingegni vi eran trascinati, e non sappiamo quanti falsi sentieri sarebbonsi aperti alla mente umana, nè con quanta foga vi si sarebbero molti avviati, se un uomo di altissimo ingegno non avesse posto termine a tutti questi vani tentativi. Fu questi il Volta. Costui allora professore a Pavia, già chiaro per molte ingegnose scoperte intorno all' elettricità, ripeteva con bramosa attenzione tutte l' esperienze del Galvani e de' suoi discepoli: pieno di ammirazione pe' fatti, non istava fermo sulle ipotesi; finalmente svelò con sagacia ammirabile una condizione del fenomeno, la cui importanza era sfuggita ai più abili osservatori. Quando l' arco conduttore che pone la comunicazione tra i muscoli ed i nervi è di un sol metallo, le contrazioni son sempre poco sensibili: al contrario, esse riescono vigorose e forti quando l' arco conduttore è composto di due metalli. L' esperienza è significata nella figura 472, tav. 22; la parte z dell' arco è di zinco, e l' altra c è di rame: è necessario che i metalli sian netti e ben forbiti nel punto dove essi toccan la rana, e specialmente deve si toccan tra loro. Posta questa condizione, Volta ne tira la seguente conseguenza: Io non nego, diceva egli, che l' elettricità sia in azione in questa esperienza, ma la rana non è una boccia di Leida; il fluido che la scuote non trovasi ne' suoi muscoli o ne' suoi nervi, ma nei metalli; esso svolgesi allorchè questi si toccano, e non è altro fuorchè il fluido elettrico comune. Un' idea tanto contraria a quanto allora si conosceva intorno alle proprietà elettriche ed alla conducibilità de' metalli, non potea senza opposizione essere ricevuta; sebbene l' ipotesi di Galvani

(1) La sensazione della luce può sempre aversi variando un poco l' esperienza, mettendo cioè una pezzolina bagnata con acqua tiepida sul bulbo dell' occhio, ed appoggiando sopra di questa un pezzo di argento il quale possa toccare un pezzo di zinco che comunichi con la lingua. L' esperienza delle lamine di argento e zinco poste l' una sopra e l' altra sotto della lingua, era conosciuta molto tempo prima del Galvani: di essa parla Sulzer nella sua Teoria generale del piacere pubblicata nel 1769. Anche il nostro Cotugno erasi nel 1786 imbattuto in un fatto, reputato di elettricismo animale, del quale si parlò nel Giornale enciclopedico di Bologna, e di cui si menò molto rumore in Italia: ma quando Galvani incominciò le sue esperienze non si pensava più nè a Sulzer nè a Cotugno.

fosse esaurita, non dando più nuovi fatti, pure faceva render ragione dei fatti conosciuti e poneva tra essi seducente connessione. Chi concorse nell'una e chi nell'altra sentenza. A che servono i due metalli, dicevano coloro che seguitavano le idee di Galvani, se non per porre una compiuta comunicazione tra i muscoli ed i nervi, e a dare al fluido un più agevole passaggio? Ma se così fosse, rispondevano coloro che seguitavano la sentenza del Volta, un sol metallo non sarebbe bastante a porre cotesta comunicazione? E intanto dall'una e dall' altra parte nuove esperienze si tentavano, forse più per sostenere che per mettere in disamina l' opinione che erasi accettata; perciocchè anche nelle disputazioni scientifiche v'ha un certo anticipato convincimento dal quale si suol essere assai spesso trasportato. Galvani senza negare il potere dei due metalli, a tutt' uomo adoperavasi per mostrare che le contrazioni son anche generate da un sol metallo: e per fermo, una rana preparata e posta sopra una vaschetta di mercurio soffre sensibilissime convulsioni, ed avvien lo stesso toccando in pari tempo i muscoli ed i nervi con piombo purissimo, o con altro metallo nel quale l'analisi chimica non iscopre alcuna eterogeneità. Il Volta, lungi dal negare questi fatti, gli annunciava egli stesso, e ne faceva argomenti in favore della sua opinione. È vero, egli diceva, che il fenomeno si ha con un sol metallo; ma stropicciatene l'estremo sopra altro metallo, e gli effetti saranno di gran lunga maggiori. Insensibili particelle che unisconsi ad esso gli danno una sufficiente eterogeneità, e l'elettricità sviluppasi quando il metallo tocca queste particelle straniere. Ciò che l' analisi chimica dimostra omogeneo, non lo è punto assolutamente; ma se anche l' arte o la natura potessero darci un metallo di un' intera purezza, anche da questo si avrebbero gli effetti, perciocchè toccando esso i muscoli o i nervi vi sarebbe nei punti di toccamento una eterogeneità e quindi manifestazione di elettricismo. Da ultimo la materia dei muscoli e quella dei nervi hanno tra loro una sufficiente diversità da potere svilupparе l' elettrico nel toccarsi; ed infatti piegando i muscoli crurali sui nervi lombari, si osservano sensibili palpitazioni, specialmente se la rana sia freschissima e con molta destrezza preparata.

219. *Esperienze del Volta. — Forze elettro-motrice. — Composizione della pila, e sue proprietà dall' esperienza fermate.* — L' idea dell' elettricità che si svolge quando i corpi eterogenei si toccano, venne a poco a poco in voga, ma desideravansi ancora delle pruove più dirette ed irrefragabili, quali son necessarie per servir di base alle teorie fisiche, e Volta non tardò guari a dichiararle. Un istrumento che egli avea alcuni anni prima inventato, gliene fornì i mezzi: fu questo il condensatore da noi innanzi descritto (n°. 205), il quale si vede nella figura 230.

L' esperienza si fa nel seguente modo: dopo di essersi renduto certo che il condensatore conserva bene il fluido di cui si carica, e dopo di averlo ridotto allo stato naturale, si pone, con le dita bagnate, il piano superiore in comunicazione col suolo, e nello stesso tempo una lamina di zinco, la quale comunichi anche col suolo, si fa toccare col piano inferiore; un solo istante è sufficiente, si tolgono le comunicazioni, si alza il disco superiore, e si vedrà una sensibile divergenza nelle lamine d' oro. Donde deriva mai questa elettricità?... Volta pensava ch'essa avesse dovuto svolgersi mercè il contatto del rame con lo zinco, per nulla ponendo mente all' azion chimica che può intervenire e che in fatti interviene al contatto dello zinco e del liquido che bagna le dita (1). Volta teneva questa esperienza come una dimostrazione inconcussa dell' esistenza, tra lo zinco ed il rame quando si toccano, di una forza elettro-motrice, acconcia a svolgere la elettricità positiva sullo zinco e la negativa sul rame, perocchè nel caso indicato il piatto del condensatore che tocca lo zinco si carica di elettricità negativa.

Questa esperienza è stata in mille guise va-

(1) Si noti che quando il condensatore è molto perfetto non è necessario bagnare le dita per avere l'elettricità, perocchè non toccando lo zinco neppur con le dita ma facendolo comunicare col suolo direttamente e con un filo di rame facendo comunicare il piattello superiore anche col suolo, ne' tempi favorevoli l' esperienza riesce benissimo siccome ho tante volte verificato. Qui l'azione chimica s' invoca a stento come in parecchi altri casi. Con ciò io non intendo di farmi seguitatore della teorica del contatto, ma ripensando molte ingegnose esperienze de' caldeggiatori di questa ipotesi e specialmente quelle del Marianini, dico che i seguaci della dottrina elettro-chimica quantunque ormai superiori di forze per rispetto agli amici della dottrina del contatto, non ancora mi pare che abbiano vittoriosamente risposto ad alcuni fatti che sembrano ribelli alla loro dominazione. Io vorrei sapere se vi possa essere azion chimica senza supporre le molecole costituite in istati elettrici diversi. Non potrebbero due corpi col toccarsi generare una specie di squilibrio iniziale dell' elettricità atomica da cui deriverebbe per avventura il cominciamento dell'azion chimica, la quale dal canto suo deve diventare sorgente di elettricità?

riata ;. tutt' i corpi conduttori sono stati successivamente messi in contatto co' piattelli del condensatore di rame ; parecchi fisici hanno anche fatto fabbricare dei condensatori d'oro o di platino per evitare con la maggior diligenza le azioni chimiche; e, secondo le condizioni nelle quali si pongono,bassi o pur no l'elettricità. Generalmente procedendo nel modo da noi detto si ha una carica al condensatore, quando il metallo che tocca il piatto inferiore, o quando il piatto superiore che si tocca con le dita bagnate, siano de' corpi facilmente ossidabili; ma generalmente il condensatore non prende alcuna carica sensibile,quando i corpi che si sottopongono all'esperienza non siano in alcun modo alterabili, essendo i piattelli d'oro o di platino. Neppure si ha alcuna carica, quando prendendo una lamina metà zinco e metà rame, come quella della figura 336, si tenga in mano pel rame facendo toccare lo zinco col piattello inferiore. I fisici, che negano la forza elettro-motrice, danno ragione del fenomeno mercè l'azion chimica, si limitano a dire in questa congiuntura che manca l'elettricità, perchè manca l'azion chimica; nell' atto che il Volta coi seguitatori della forza elettro-motrice dicono che lo zinco trovandosi tra due pezzi di rame, vi deve essere una doppia forza elettro-motrice,le cui azioni essendo contrarie si distruggono: la prima è quella che interviene tra lo zinco ed il piatto la quale tende a caricare questo di elettricità negativa, nell'atto che carica nello stesso tempo lo zinco di eguale elettricità positiva; la seconda è quella che interviene tra lo zinco ed il rame della doppia lamina; la quale tende parimente a caricare lo zinco di elettricità positiva: per cui il piattello non può ricevere se non che una quantità di elettricità negativa, eguale alla metà dell' elettricità positiva che si accumula sullo zinco, e sarebbe mestieri che la superficie dello zinco fosse grandissima affinchè il condensatore si potesse caricare.

V' ha dunque dell' incertezza sulla vera origine dell' elettricità, che si appalesa nelle sperienze delle quali discorriamo. Per circa 30 anni i fisici hanno quasi concordemente dato il loro consentimento alle idee del Volta, supponendo questa elettricità derivata da una forza elettro-motrice; ma dopo la scoperta dell' elettro-magnetismo, da cui son venuti altri modi di studiare l'elettricità, e specialmente da pochi anni, una quantità di nuove sperienze è venuta a mettere in chiaro non solo che l'azion chimica svolge sempre le due elettricità, ma che la maggior parte dei fenomeni, de'quali davasi ragione mercè la forza elettromotrice, si debbono intendere necessariamente come effetti dell' azion chimica. Aspettando che venga il luogo in cui possiamo discutere questa quistione, il che faremo appresso (*Elettro-chimica, capo 7*), dobbiamo contentarci di accettare i semplici risultamenti delle sperienze, secondo i veri principi del metodo sperimentale, il quale sta riposto nel fermar bene i fatti e le loro conseguenze innanzi di cercarne la spiegazione e le prime cagioni.

Terremo dunque come un fatto fondamentale scoperto dal Volta,che certi metalli,e specialmente i metalli ossidabili, svolgono elettricità e caricano il condensatore, quando sono nelle condizioni delle quali di sopra è detto.

A questo primo fatto il Volta ne aggiunse un altro anche più fecondo ed importante. Quantunque nella sua mente questo fosse una conseguenza necessaria del primo, pure noi lasciamo le attenenze ch' essi possono avere, per tenerci perfettamente entro i limiti de' dati sperimentali. Ecco questo secondo fatto: sopra una lamina di vetro si ponga un *disco di rame* (*fig.* 337), sopra questo un *disco di zinco*, e sullo zinco una rotella umida; indi sopra questa prima rotella umida si continui a porre con lo stesso ordine, rame, zinco, rotella umida, e si continui così sempre nello stesso modo. Si avrà così uno strumento, ma *pila del Volta*, la quale ha le seguenti proprietà: 1° se dopo di aver toccato il primo rame per metterlo in comunicazione col suolo, si presenti al sommo della pila il condensatore a taffettà della figura 319, questo prenderà col contatto una forte carica di elettricità vitrea; 2° se si proceda in ordine inverso, cioè se,facendo comunicare il sommo della colonna col suolo, si faccia toccar la base col condensatore, si avrà in questo una forte carica di elettricità resinosa. E queste sperienze possono ripetersi e rinnovarsi indefinitamente, anche quando la pila sia stata da più ore ordinata, purchè le rotelle non sieno asciugate; 3° gli effetti elettrici che per tal modo si hanno sono tanto più intensi per quanto più gran numero di elementi si accumulano.

La rotella umida è un disco di carta, di cartone, di panno, ec. bagnato con acqua nella quale sia sciolto un sale; o che sia acidolata con $\frac{1}{50}$ o $\frac{1}{100}$ di acido solforico, o azotico o idroclorico, ec.

I due dischi di zinco e di rame, i quali si toccano, possono essere insieme saldati; essi formano ciocchè dicesi *una coppia*, o *un elemento* della pila.

In vece di zinco e rame si potrà fare uso di

altri metalli, purchè sien tali che uno di essi sia chimicamente attaccato dal liquido che bagna la rotella; ma non debbono entrambi i metalli essere egualmente attaccati.

Quell' estremo della pila che carica il condensatore di elettricità vitrea, dicesi il *polo positivo* della pila, e quello che lo carica di elettricità resinosa, *il polo negativo* viene addimandato. Quando questi estremi uniscansi a fili o conduttori di qualsivoglia lunghezza, questi conduttori sogliono anch' essi prendere il nome di poli. Tali sono le condizioni generali per fabbricare la pila inventata dal Volta, sono queste le proprietà ch' essa ci offre. Si potrà oggi dubitare della verità delle idee teoriche che guidarono l' ingegno del Volta, ma non vi sarà chi non trovi l' invenzione come una delle più maravigliose e feconde di cui siasi fregiata la scienza.

220. *Effetti della pila.* — La pila per noi descritta dicesi *pila a colonna*. Per osservare i vari effetti ch' essa può cagionare, le si dà comunemente la disposizione espressa nella figura 475; i dischi son mantenuti fra tre bastoncelli di vetro i quali sorgono dalla base e sostengono la parte di sopra.

Poichè l' uno de' poli è sempre carico di elettricità vitrea e l' altro di elettricità resinosa, ne segue che avvicinando i poli o i conduttori, si debba, se la pila è forte, avere una scintilla, la quale si ha veramente, quando la pila abbia 20 o 30 coppie, per esempio. Poichè l' azione della pila si mantiene e si conserva per ore intere, ne segue che per ore intere puossi veder balenare la scintilla tra i poli; e questo appunto viene dall' esperienza fermato. La pila del Volta dunque è una vera boccia di Leida, o meglio una vera batteria che *si ricarica* da se stessa, e che non si esaurisce se non dopo molto tempo, invece di esaurirsi dopo ogni scarica, siccome interviene alle comuni batterie; per la qual cosa essa deve generare, con altra misura ed in diverso grado di efficacia, dipendente dalla permanenza di sua azione, tutti gli effetti che generano le bocce di Leida e le batterie cioè gli *effetti fisiologici*, gli *effetti fisici* e gli *effetti chimici*.

Gli *effetti fisiologici* della pila a colonna sono molto da notare: quando con ciascuna delle mani si prenda un cilindro metallico, alquanto bagnato con acqua acidolata, e tenendo uno di questi cilindri in comunicazione con la base della pila si faccia toccar l' altra con la cima o un punto qualunque di sua altezza, si avrà una scossa più o meno forte, la quale si ripeterà continuamente, continuando a toccare i cilindri.

Gli *effetti fisici* sono meno spiccati: unendo i poli con un finissimo e cortissimo filo di ferro o di platino; questo si vedrà riscaldare e tenersi caldo, fin che restino aperte le comunicazioni, ma ci vogliono larghe coppie ed in certo numero per farlo arroventare, e per mantenerlo rovente per un certo tempo.

Gli *effetti chimici* si manifestano con molta forza. Il primo ed il più notevole effetto chimico della pila fu scoperto sul finire del prossimo passato secolo (il 30 aprile del 1800) da Carlisle e Nicholson. Questi due fisici, volendo rifare l' esperienze del Volta, avean frettolosamente fatta una pila a colonna con monete, lamine di zinco e rotelle di cartone. Dopo alcuni saggi sentirono l' odore dell' idrogeno, e venne tosto in pensiero a Nicholson di far passare la corrente in un tubo pieno d' acqua per mezzo di due fili di metallo i cui estremi restassero molto vicini tra loro. Tosto l' idrogeno comparve in piccole bolle intorno al *reoforo negativo*, mentre il *reoforo positivo*, sensibilmente vedevasi ossidare. In tal guisa i due elementi dell' acqua furono finalmente separati, perciocchè Cavendish avea potuto comporre l' acqua con ossigeno ed idrogeno, ma ogni opera era riuscita vana per decomporla.

Lo stromento che ora adoperiamo per la separazione degli elementi dell' acqua è rappresentato nella figura 481; esso è composto da un bicchiere con piede, il cui fondo è attraversato da due fili di platino *f*, *f'*, i quali non debbon toccarsi; ciascuno dei fili è coperto dalle campane *o* e *h* capolvolte e piene di liquido. Tosto, che questi fili si fanno comunicare co' poli della pila, copiose bolle di gas si sviluppano; l' ossigeno puro, ascende nella campana che copre il filo positivo, e l' idrogeno puro, in quella che copre il filo negativo. Egli è chiaro che le due campane è mestieri che abbiano comunicazione fra loro, per mezzo del liquido intermedio, perciocchè le correnti non possono attraversare il vetro.

L' acqua distillata, e perfettamente pura si decompone con lentezza; ma tostochè vi si versa una goccia di un acido qualunque, o alcuni atomi di sale, o alcune particelle di altra sostanza, che aumenta la conducibilità dell' acqua, le bolle del gas più vivamente sviluppansi, e solo due o tre minuti bastano per avere un centimetro cubico di ossigeno, nella campana positiva, e due centimetri cubici d' idrogeno nella negativa.

Due atomi d' idrogeno ad uno de' poli ed un atomo di ossigeno all' altro: ecco un maraviglioso fenomeno che ha per lungo tempo esercitata la sagacia de' fisici; perciocchè nelle de-

composizioni ordinarie, gli elementi separansi ma non si allontanano l'uno dall'altro, nell'atto che qui si ha nello stesso tempo separazione e trasferimento degli elementi che si separano. Sonosi fatti molti tentativi per osservare la molecola d'acqua che si decompone, o per arrestar nel loro cammino gli atomi gassosi, prima di giungere ai fili di metallo, dai quali l'elettricità passa nel liquido; tutto è riuscito vano finora. Per esempio, se ponesi l'acqua in due vasi, in uno de' quali sia immerso il filo positivo e nell'altro il negativo, e quindi si ponga una comunicazione tra questi vasi per mezzo di un corpo conduttore, affinchè il circuito elettrico possa compiersi, singolarissimi fenomeni si osserveranno: se il conduttore intermedio sia un metallo, l'acqua sarà ancor decomposta secondo il solito, ma separatamente in ciascun vase; se poi è un corpo umido, talvolta anch'esso la decompone come un metallo; ma il più delle volte non si sa dire dove la decomposizione si faccia, perocchè in uno de' vasi cioè nel positivo si trova solo ossigeno, e nell'altro solo idrogeno; il che accade per esempio quando si pone tra due vasi la comunicazione immergendo un dito in ciascuno di essi. Pare che allora si debba conchiudere che uno degli elementi gassosi abbia dovuto attraversare il corpo per ridursi al polo dove sviluppasi. In simil guisa quando la comunicazione è costituita da un pezzo di ghiaccio, par che sia necessario che l'uno o l'altro de' gas lo attraversi, perciocchè ciascuno di essi sviluppasi verso l'uno o l'altro de' fili metallici.

Il Grotthuss ha dato di questo fenomeno e di tutte le altre decomposizioni chimiche operate dalla corrente, una spiegazione ricevuta da tutt'i fisici non solo perchè ingegnosa, ma anche perchè sembra interamente conforme alla verità. Supponiamo un filo di molecole acquee 1,2,3,4, ec. (*fig.* 476) che formino una specie di catena dritta o curva che unisce il filo positivo f con quello negativo f': l'elettricità positiva di f opererà per influsso sulla molecola 1, e la *volgerà* per attrarre l'ossigeno ch'è *elettro-negativo*, e ripeller l'idrogeno ch'è *elettro-positivo*; la molecola 1 opererà in simil guisa sulla molecola 2, e così appresso; all'estremo della catena genererassi la stessa disposizione, e quando la tensione elettrica avrà sufficiente vigore, l'ossigeno della molecola 1 sarà per l'attrazione quasi strappato dalle molecole d'idrogeno, con le quali è unito, e portato verso il polo, nell'atto che l'idrogeno renduto libero si trasferirà sull'ossigeno della molecola 2 per combinarsi con esso, rendendo libero l'idrogeno della medesima, il quale a sua posta andrà a congiungersi all'ossigeno della molecola 3, e così appresso. Fenomeni analoghi ma in senso contrario accaderanno verso l'altro polo, e vi sarà così nello stesso tempo una moltitudine di composizioni e decomposizioni. Quello che accade in una serie di molecole accade in tutte le altre che uniscono i due poli, e quindi si ha la moltitudine di atomi gassosi renduti liberi, è la copia delle bolle distinte che nascono e sviluppansi.

Questi moti di vibrazioni degli ultimi elementi della materia posson compiersi in mezzo alle masse fluide; e veramente, se, come sembra, la spiegazione del Grotthuss è vera per la decomposizione de' liquidi, non potrà essere men vera per quella de' solidi e di tutti gli altri corpi, sopra i quali le correnti elettriche posson esercitare il loro potere (1).

Si ha sempre nello stesso tempo *scomposizione* e *trasporto* degli elementi: l'ossigeno e i suoi analoghi chimici appariscono sempre al *polo positivo*, nell'atto che l'idrogeno ed i suoi analoghi vanno al *polo negativo*.

Questo fatto fondamentale ha fatto pensare che tutte le combinazioni chimiche fossero effetti di azioni elettriche opposte, essendo uno degli elementi *elettro-positivo*, ed *elettro-negativo* l'altro.

Una sperienza curiosa, la quale risale ai tempi primitivi della scoverta della pila, mostra scomporsi gli stessi sali: un tubo ricurvo di vetro (*fig.* 489) è pieno di taluna tintura vegetale, come sarebbe quella che ottiensi spremendo il succo da un cavolo rosso; si fa passare a traverso di esso la corrente, mercè due fili di platino, i cui estremi inferiori trovansi per qualche millimetro distanti l'un dall'altro, e tosto si vede un bel colore di vino carico di colore nel ramo positivo, ed un color verde in quello negativo: sì che convien conchiudere essersi sviluppato un acido nel primo ed un alcali nel secondo. Basta invertire la comunicazione per distruggere questi colori, e riprodurli ne' rami opposti.

Devesi ancora a Seebeck (*Ann. de Chim.*, maggio 1808), la conoscenza d'un fenomeno singolare che vien dall'azione della pila prodotto. In un pezzettino d'idroclorato d'ammoniaca (*fig.* 477), si pratica una cavità nella quale pongonsi alcune gocce di mercurio; non appena passa la corrente (il filo negativo

(1) Questa ipotesi essendo soggetta ad alcune difficoltà, il de la Rive ne pose in mezzo un'altra, V. B. U.

trovandosi nel mercurio) che vedesi il volume del mercurio aumentare sensibilmente; cresce a guisa d'un fungo, prende una certa consistenza, e diviene cinque in sei volte più grande del volume primitivo. Sopprimendo le comunicazioni, il fungo decresce a poco a poco, ed il mercurio riprende il suo stato liquido; l'amalgama che erasi formatá esiste dunque sotto l'influsso della corrente. (Ved. *Recherches physico-chimiques* di Gay-Lussac e Thénard per l'analisi chimica di quest' amalgama).

221. *Vari modi di far la pila — Pila a truogoli. — Pila alla Wollaston. — Pila ad elica.* — Tosto che gli effetti della pila furono renduti aperti mercè la pila a colonna, tutti s'ingegnarono d'immaginare disposizioni più comode per unire maggior numero di elementi di maggiori dimensioni. La pila a colonna mal si prestava per comporre grandi batterie, per cagione della pressione che le rotelle umide inferiori soffrivano dalle coppie di sopra. Alla pila a colonna furono dunque utilmente e l'una dopo l'altra sostituite la *pila a truogoli* o *pila di Cruikshank*, la *pila alla Wollaston*, e la *pila ad elica* (1).

La pila a truogoli è espressa dalle *fig.* 478 e 479. Gli elementi sono rettangolari e saldati l'uno all'altro per formare una coppia; tutte le coppie son disposte per coltello e parallelamente in una cassa di legno *bb'*, le cui interne pareti son coperte da un mastice coibente, l'intervallo tra due coppie forma un piccol truogolo, nel quale ponesi l'acqua acidulata, e questa lamina d'acqua, della spessezza di due o tre linee, fa le veci della rotella umida della pila a colonna; i truogoli sussecutivi non hanno alcuna comunicazione tra loro, nè dalla parte degli orli, nè verso il taglio superiore delle coppie. Riunendo molte pile simili a quella espressa nella figura, componesi una *batteria galvanica* o *voltaica*. La riunione si può fare in due maniere: le pile avendo per esempio 100 coppie, ciascuna di un decimetro quadrato, se se ne uniscano due facendo comunicare insieme i due poli negativi, ed anche i due poli positivi, avremo una batteria di 100 coppie, ciascuna di due decimetri quadrati; se al contrario si uniscano in modo che il polo positivo della prima si metta in comunicazione col polo negativo della seconda, si avrà una batteria di 200 coppie ciascuna di un decimetro quadrato,

La *pila di Wollaston* (2) è rappresentata dalle figure 482, 483 e 484. Per far meglio conoscere la maniera secondo la quale questa è conformata, ne prenderemo in esame soltanto due coppie rappresentate in sezione (*fig.* 482) ed in prospetto (*fig.* 483): *os* è il primo rame, ed *sz* il primo zinco, guardati secondo la loro grossezza; essi son saldati in *s*: *c's'* è il secondo rame, *s'z'* il secondo zinco; *v'*,*v'* sono de' vasi pieni di acqua acidulata: l'elettricità vitrea passa dal primo zinco al secondo rame per mezzo dello strato aqueo che li separa; in simil guisa passa dal secondo zinco al terzo rame, e così continuando. Questa conformazione arreca due grandi vantaggi: primamente, il fluido che sta sullo zinco può uscire da tutti i punti della superficie di questo; in secondo luogo, l'anzidetta elettricità per andare sul rame deve solo attraversare un sottilissimo strato umido, il quale nella pila a truogoli resta tosto alterato, nell'atto che in questa è rinnovato continuamente, mescolandosi col liquido del vase.

Una sola di queste coppie avente pochi pollici quadrati di superficie è capace di produrre assai considerabili fenomeni; può per esempio fare arroventare un filo di platino. Questa esperienza è indicata nella figura 480: *cs* è il rame, *zz* lo zinco; l'invoglio *c'c'c'* serve solo ad agevolare la conducibilità; un piccolo filo di platino sta teso fra *p* e *p'*, e quando questa coppia tenuta per lo manico *m* s'immerge in un vaso d'acqua bene acidulata, il filo tosto divien rosso per effetto della corrente che lo attraversa.

Con una pila di una ventina di coppie disposte in due ordini, come quella della figura 481 possonsi fare quasi tutte le sperienze galvaniche. Questa si mette in opera con acqua nella quale ordinariamente si pone $\frac{1}{16}$ d'acido solforico ed $\frac{1}{30}$ d'acido nitrico (3).

La *pila a spirale* non è veramente se non che una modificazione della pila di Wollaston; essa è particolarmente ordinata a dare molta copia di elettricità, senza molta tensione. Le figure 487 e 488 rappresentano le disposizioni che io ho approvate per la pila della Facoltà delle Scienze. Sopra un cilindro di legno *b* (*fig.* 487) di tre pollici di diametro e di un piede di lun-

(1) È giusto il ricordare che la pila orizzontale fu pure inventata dal Volta. Chi mai non conosce la pila a *corona di tazze*, ancor comoda in parecchi casi, specialmente per gli usi medici; potendosi con somma facilità aggiungere o togliere delle coppie a piacimento?

(2) Conosciuta anche in Italia col nome di *pila alla Novellucci*.

(3) In molti casi giova adoperare minore quantità di acidi, altrimenti lo zinco tosto rimane alterato dall'azione di questi in tutta la sua superficie, e la pila perde il vigore.

ghezza, si avvolgono due lamine l' una di zinco l'altra di rame, le quali son separate da pezzi di vivagno di panno *l*, uniti con piccole cordelline, la cui grossezza sia alquanto minore di quella del vivagno. Si forman così delle coppie, ciascuno elemento delle quali ha 60 piedi quadrati di superficie; una sola di queste coppie (*fig.* 488) è atta a produrre poderosissimi effetti fisici; e quando uniscousi 20 coppie simili si avrà una batteria di straordinario potere per liquefare in un istante, non già dei fili, ma delle vere verghe metalliche.

Nel capo VII (elettro-chimica) faremo conoscere altri modi a' quali ragionevolmente i fisici oggi danno la preferenza; ma prima della scoperta dell' elettro-magnetismo le tre principali disposizioni da noi descritte erano quasi esclusivamente adottate tanto per gli apparecchi comuni, quanto per quelli di forza straordinaria.

La Società reale di Londra fece fabbricare nel 1806 una batteria di 2000 elementi ciascuno di 4 o 5 decimetri quadrati, secondo la disposizione della pila a truogoli. Fu con questa pila che il Davy giunse nel 1808 a fare la grande e bella scoperta della scomposizione della potassa e della soda.

Nel 1808 Gay-Lussac e Thenard avevano alla scuola politenica, per una straordinaria dotazione, una bateria di 600 coppie, ciascuna di nove decimetri quadrati di superficie. Con questa fecero essi tante importanti scoperte. (*Recherches philosophico-chimiques*, 2. vol. 2811).

Poco tempo dopo Hare negli Stati uniti fece fare una batteria che chiamò *deflagratore*, atta a produrre effetti straordinari. Gli elementi di questa pila erano ordinati in modo simile a quello della pila ad elica.

Le più poderose macchine elettriche non hanno niente che somigli queste tormentose batterie. Basterebbe toccare per un momento con le mani i poli di coteste batterie per restar morto come dal fulmine. Dei fili di platino di 5 o 6 millimetri di diametro e di oltre un metro di lunghezza posti tra i poli sono mantenuti nello stato di più viva incandescenza e quasi in fusione durante il tempo che sono nel circuito: gli altri metalli sono fusi o bruciati, secondo che sono più o meno buoni conduttori dell' elettricità, più o meno fusibili, e più o meno ossidabili. Da ultimo non v' ha composto chimico, che sia conduttore, i cui elementi non siano rapidamente separati, trovandosi tra i poli di coteste batterie.

Non è poi assolutamente necessario di ricorrere ad apparecchi dotati di forza sì grande. Una pila a truogoli di un centinaio di elementi, una pila alla Wollaston di 20 o 30 elementi, o una pila ad elica di 15 in 20 elementi, nel modo anzidetto, bastano per dare un' idea di cotesti varî risultamenti. Le scosse allora diventano deboli, ed è mestieri bagnarsi le mani per sentirle. Gli effetti fisici di fusione e di combustione non si rendono sensibili se non mercè sottili foglie d' oro, d' argento o di stagno, mercè fili di platino sottili e lunghi per qualche centimetro, mercè fili di ferro o di acciajo delle stesse dimensioni, ec. Gli effetti chimici si generano anche con minore intensità; siccome vedremo nel capo VII, dove gli prenderemo in disamina.

222. *Pile a secco.* — Sonosi anche fatte delle pile di un altra specie, alle quali si è dato il nome di *pile a secco*, perocchè nella loro composizione entra pochissimo liquido. Ecco il procedimento che pare il più acconcio per averne di maggiore durata.

Si prendono de' fogli di carta ordinaria, alquanto forte, e così umida come potrebbe esserla naturalmente in un tempo di pioggia; sopra una faccia s' incolla, con gelatina, gomma, o amido, un foglio di zinco laminato e poscia battuto; sulla faccia opposta si spande del perossido di manganese benissimo macinato, e lo si spande, a più riprese, con uno strofinacciolo, o solamente con un pezzo di carta. Allora, si soprappongono nell' ordine medesimo molti fogli simili al precedente, e, con uno stampo di 2 in 3 centimetri di diametro, si staccano, ad ogni volta, tanti dischi per quanti sono i fogli. Questi dischi sono, a lor volta, sovrapposti nello stesso ordine, e così si formano pile di 500 di 1000 o 2000 coppie. Per viemeglio assicurare il contatto, pongonsi i dischi sotto un pressojo, dopo, aver messi a ciascun estremo de' pezzi di metallo abbastanza forti, portanti cinque in sei appendici sporgenti, che si legano l' una all' altra con cordoni di seta; inoltre, per garentir la pila dal contatto dell' aria, la s' immerge nel solfo fuso o nella gomma lacca.

La carta, talvolta, si fa imbevere d' una leggiera soluzione salina, o pure di latte, di mele, di butirro, d' olio de' garofoli, d' essenza di terebentina, ec; ma se le pile in tal modo costrutte hanno il vantaggio di mostrarsi un poco più forti ne' primi istanti, han pure l' inconveniente di deteriorarsi prontamente, in confronto delle prime, imperocchè egli è raro che dopo alquanti anni conservino esse tuttavia la loro energia primitiva.

In vece di usare lo zinco con l' ossido di manganese si può senza perdita adoperare lo stagno.

Coteste pile diconsi anche pile del Zamboni,

perocchè costui le ha molto perfezionate. Le pile del Zamboni godono delle seguenti proprietà: esse non danno scosse nè generano scomposizioni chimiche, ma ciò non di meno con una pila di 1000 o 2000 coppie e con l'ajuto di un condensatore a taffettà si ha una carica capace talvolta di mostrare la scintilla. Ci vuol tempo perchè la pila si rifaccia delle perdite, sia che ciò provenga dalla lentezza delle azioni chimiche, sia che derivi dall'esser la carta un corpo poco deferente.

Quando due conduttori isolati, due sfere metalliche per esempio, si facciano comunicare co' due póli di una pila o di un sistema di pile di Zamboni, si avranno sopra queste sfere due opposte elettricità, che possonsi adoperare per generare de' moti alternativi o continui; ma è mestieri proporzionare il consumo di elettricità, da questi moti generato, alla debolezza della sorgente che riparar ne deve le perdite.

Elettroscopio di Bohnenberger. — Bohnenberger ha fatto della pila a secco un' applicazione che sembra a prima giunta molto ingegnosa; tolta una foglia dal condensatore a lamine di oro, ei pone ad egual distanza dalla foglia rimanente i due poli di una debolissima pila; in questo caso è chiaro che la più piccola carica di elettricità resinosa o vitrea farà andare la mobilissima foglia verso il polo positivo o verso il negativo, e che posta in moto una volta dovrà continuare le sue vibrazioni per più o men lungo tempo. Ma questo strumento mi è sempre paruto infedele, tanto per cagione dell'agitazione dell'aria della campana, quanto per cagione dell'elettricità che quest' aria riceve da' poli della pila (1).

Pile à secco di Delezenne. — Delezenne ha ultimamente fatto delle pile a secco di grandi dimensioni (Memorie della Società reale delle Scienze di Lilla), con fogli di carta stagnata di 178 millimetri di lunghezza, sopra 158 millimetri di larghezza; ed ha mostrato che con 300 elementi di questi, bastantemente umidi e stretti, si ha la scossa molto spiccata e la scomposizione dell'acqua molto distinta.

CAPO II.

DELLE AZIONI DELLE CORRENTI SULLE CALAMITE.

223. *Scoperta dell'elettro-magnetismo.* — Nel 1820 Oersted, professore a Copenaghen, fece la scoperta fondamentale dalla quale nacque l'elettro-magnetismo; sapevasi già che in certi casi le poderose scariche elettriche esercitano un potere sugli aghi calamitati; erasi per esempio osservato che sopra i vascelli colpiti dal fulmine l'ago perdeva la proprietà di additare la *rotta*; parecchi fisici, tra i quali si possono notare Franklin, Beccaria, Wilson e Cavallo, avean tentato di riprodurre questi fenomeni con la scarica della boccia di Leida, o con quella di una grande batteria, ed era in fatti loro riuscito di produrre delle modificazioni sul magnetismo degli aghi molto piccoli, col porli o nel circuito della scarica, o pure ad una picco-la distanza dalla scintilla; ma da queste sperienze non essendosi avuti regolari fenomeni, si disse che l'urto dell'elettrico operava siccome un colpo di martello, nè si pensò ad altre ricerche. Alquanto dopo per mezzo della pila si fecero nuove sperienze, le quali non ebbero più felice successo. Finalmente Oersted trovò il mezzo di fare operare l'elettricità sul magnetismo in un modo certo e permanente. Scoperta una volta e giustamente fermata la maniera di operare, i fondamentali fenomeni si svelarono da se medesimi ad Oersted; un vasto campo si mostrò innanzi ai sapienti di ogni paese, e forse non mai si vide in sì breve tempo farsi bella la scienza di tante nuove verità.

Una sola condizione è necessaria affinchè i fluidi elettrici operino sul magnetismo: si richiede cioè che essi stiano in moto.

E per fermo, se un filo conduttore sia attraversato dalla corrente della pila, e ad esso si avvicini un ago magnetico liberamente sospeso, questo si vedrà tosto declinare dalla sua giacitura, facendo generalmente molte vibrazioni senza essere attratto o repulso. Questa fu la prima sperienza di Oersted. Vedendo una azione così sensibile che opera anche dalla distanza di parecchi piedi, si resta maravigliato come fra tante sperienze ch'eransi fatte con la pila, il caso non abbia presentato neppure una volta l'occasione di fare osservare un fenomeno di questa natura.

La forza che opera tra le correnti della pila ed il magnetismo degli aghi, forza *elettromagnetica* si chiama. È facile il rendersi certo per esperienza che la forza elettromagnetica presenta le seguenti proprietà.

1°. Che essa scema, crescendo le distanze tra la corrente e l'ago;

2°. Che opera per tutte le direzioni ed attraverso tutte le sostanze, tranne le magnetiche.

(1) Io trovo questo elettroscopio utilissimo e sensibile, quando sia ben fatto, e si abbia un poco di pratica nel maneggiarlo.

Ecco intanto alcune supposizioni che torneranno molto utili per distinguere i fenomeni in una maniera più comoda e più certa; noi ammetteremo nella corrente una certa e determinata *direzione*, e la diffiniremo col dire che essa va dal polo positivo al polo negativo passando per lo conduttore che unisce i poli; onde quando la comunicazione è aperta, ed il moto elettrico si esegue in tutto il circuito della pila, noi diremo, parlando dell' arco *za* che tocca il polo positivo, che la corrente lo attraversa, andando da *z* verso *a* (*fig.* 353), similmente *aa'* è attraversato da *a* verso *a'*, *a'a''* da *a'* verso *a''*, e finalmente *cz* da *c* verso *z*; e considerando l' intiero circuito, diremo che va da *c* verso *z* passando per la pila, e da *z* verso *c* passando pel filo congiuntivo. Noi spesso indicheremo la corrente coi nomi delle forme e delle dimensioni del conduttore ch'essa attraversa: se passa per un conduttore rettilineo noi la diremo *corrente rettilinea*; se per un filo sottilissimo, *corrente lineare*; se per un cilindro vuoto, *corrente cilindrica*; se per una curva, *corrente curvilinea*; se per un cerchio, *corrente circolare*; so per un conduttore indefinito per lunghezza, *corrente indefinita*; per un conduttore ripiegato sopra se stesso e formante un circuito compiuto, *corrente chiusa*, ec. Alcune di queste espressioni non debbono essere letteralmente intese: quando diciamo essere una corrente che unisce i poli della pila, non vogliamo intendere che nel conduttore vi sia un moto di trasferimento del fluido vitreo dal polo positivo al polo negativo, e del fluido resinoso al contrario; perciocchè è probabile, siccome abbiamo altre volte detto, che i fluidi si ricompongono intorno a tutte le molecole ponderabili, ed in tutti gl' intervalli che le separano.

224. *La corrente tende a volger l'ago in croce con essa; col polo australe a sinistra.* — La *fig.* 354 rappresenta un ago calamitato *ba*, al di sopra del quale passa orizzontalmente una corrente rettilinea *cc'*, disposta nel piano del meridiano magnetico e diretta da *c* verso *c'*; l' ago è rimosso dalla sua direzione primitiva, il suo polo *australe* è spinto verso l' *occidente*, e dopo alcune oscillazioni esso fermasi nella giacitura *b'a'*, soffrendo così una declinazione misurata dall' arco *aa'*. Questa declinazione cresce o scema, secondo che la corrente si abbassa per recarla più vicina all' ago, o si alza per allontanarnela.

Le cose essendo rimesse allo stato primiero, se di nuovo si avvicini la corrente, ma rivolta in modo che proceda per direzione opposta, cioè da *c'* verso *c*, siccome è dinotato da' piccoli strali punteggiati, l' ago sentirà ancora gli effetti della sua presenza; ma il polo *australe* sarà menato verso l' *oriente*, e l' ago si fermerà nella giacitura *b''a''*.

Onde *al di sopra* dell' ago la corrente riduce il polo australe verso l'occidente, quando essa viene dal sud verso il nord, e verso l' oriente, quando all' opposto va dal nord verso il sud.

Le stesse esperienze possonsi ripetere facendo passar la corrente *al di sotto* dell' ago, sempre orizzontalmente e nel piano del meridiano magnetico: allora con maraviglia si vedrà gli effetti essere precisamente opposti, cioè il polo australe andrà verso l'oriente, quando la corrente va dal sud al nord, e verso l' occidente, quando va dal nord al sud.

In questi fenomeni la forza elettromagnetica è contrariata dall' azione direttrice che la terra esercita sull' ago, e per osservare il solo effetto di questa nuova forza, che opera in una maniera così energica e nel tempo stesso così singolare, è mestieri neutralizzare la forza terrestre: il che può farsi agevolmente, disponendo per esempio una verga magnetica orizzontale nel piano del meridiano magnetico, sul prolungamento dell' ago; si scopre allora la vera indole della forza elettromagnetica: si vedrà questa non essere una forza attrattiva o repulsiva, ma una forza *direttrice* che riduce l' ago sempre in direzione perpendicolare al filo conduttore, senza attrarre più un polo o l' altro, cioè la linea de' poli farà sempre una croce con la corrente. Per farci un' idea più chiara di questa direzione, figuriamoci un cilindro vuoto, di qualunque lunghezza, e del diametro, per esempio, di un piede; per l' asse di questo cilindro immaginiamo che passi un filo conduttore, attraversato dalla corrente, e sulla sua superficie supponghiamo posto un ago calamitato, che possa liberamente muoversi per ogni verso: la forza elettromagnetica sarà tale che l' ago si disporrà tangente al cilindro trasversalmente alla sua lunghezza; o in altri termini, se dal mezzo dell' ago si abbassi una perpendicolare sulla corrente, l' ago nella sua giacitura di equilibrio, sotto l'influsso della forza elettromagnetica, sarà perpendicolare al piano che passa per questa perpendicolare e per questa corrente. Non basta però definire così la direzione dell' ago; egli è mestieri ancora indicare la giacitura de' poli, determinare da qual lato si trova il polo boreale o l'australe, tanto se la corrente proceda per un verso che per l' altro. Ne' primi tempi incontravasi molta difficoltà nell' esprimere in poche parole que-

sti riferimenti di giacitura e di direzione, i quali in mille guise s' intrigano: ma Ampère ha tolte tutte queste dubbiezze mercè una similitudine, la quale sembrerà forse bizzarra per quanto è ingegnosa. Ampère non si contenta di dare alla corrente una direzione, ma le dà anche il *capo*, i *piedi*, la *destra* e la *sinistra*; personifica insomma la corrente. Figuriamoci in una parte qualunque, del filo congiuntivo, un fantoccio coricato nella direzione della lunghezza, col piedi rivolti verso il polo zinco, e la testa rivolta verso il polo rame, in guisa che secondo la nostra antecedente definizione, la corrente entri pei piedi ed esca pel capo; immaginiam che questo fantoccio abbia sempre la faccia rivolta verso il mezzo dell' ago sul quale la corrente opera: allora l' effetto è tale che l' ago trovasi disposto in croce siccome poco fa vedemmo, e sempre col polo australe verso la sinistra del fantoccio; e questo è quello che noi vogliamo intendere col dire che l' ago disponesi in croce con la corrente col polo australe a sinistra. Questa specie di formola singolare ci dà un'immagine facile, che fa le veci di molte parole; coloro che vorranno applicarla a tutte le sperienze innanzi discorse, non avran bisogno di un lungo esercizio per conoscere che essa è nello stesso tempo comodissima e sicura.

225. *L' intensione dell'azione della corrente è in ragione inversa della semplice distanza.*— Questa legge fondamentale è stata da Biot e Savart dimostrata, mercè lo strumento rappresentato nella *fig.* 355; *ab* è un ago calamitato, simile a' piccoli aghi di prova de' quali discorremmo altrove; esso è sospeso ad un filo di bozzolo mercè un piccolo cappelletto di rame, ed è difeso dalle agitazioni dell' aria da una campana di vetro. L' azione della terra è neutralizzata da una verga magnetica convenientemente disposta, in guisa che l' ago non abbia più forza direttrice, esso resta indifferente e pronto ad obbedire senza ostacolo alle nuove forze cui si espone; *cd* rappresenta la sezione di un grosso filo di rame di 8 o 10 piedi di lunghezza, verticalmente teso e attraversato da una corrente che alle volte si fa andare di sotto in sopra, ed alle volte di sopra in sotto. Per fissar le idee supporremo che la corrente ascenda: questo filo ognor verticale può essere portato a diverse distanze dall' ago, il quale in tutte le sue giaciture corrisponde sempre verso la metà della lunghezza del filo anzidetto. Per effetto della legge indicata, l' ago disponesi in croce con la corrente col polo australe a sinistra, come lo rappresenta la figura; ma per poco che si rimova da questa giacitura, esso vi ritornerà dopo un certo numero di oscillazioni isocrone, la cui durata dipende dall' efficacia della forza elettromagnetica. Il numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo, la distanza della corrente e la intensione della forza di essa son tre cose tra loro connesse.

In una prima esperienza supponiamo che *d* sia la distanza della corrente dal mezzo *m* dell' ago, *e* la intensione della forza che opera, ed *n* il numero delle oscillazioni, che si compiono in un dato tempo, come per esempio in un minuto: in una seconda esperienza siano *d'*, *e'*, *n'* le quantità corrispondenti.

Le intensioni delle forze che generano le oscillazioni isocrone essendo sempre tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in un dato tempo, avremo (§. 179)

$$\frac{e}{e'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Onde dopo di avere osservato le vibrazioni, è facile paragonare la intensione delle forze. Con questo mezzo, per distanze comprese tra 15 e 120 millimetri, ed usando le debite cautele per evitare le variazioni della pila, Biot e Savart hanno conosciuto che veramente l' *intensione della forza elettromagnetica è in ragione inversa della semplice distanza.*

Ma è mestieri non dimenticare, che secondo la disposizione dell' apparecchio, la corrente è rettilinea ed è di una lunghezza, che si può considerare come indefinita per rispetto a quella dell' ago, e specialmente alla sua distanza; e solo sotto queste condizioni la legge deve essere vera reputata. De Laplace ha dimostrato, la forza elettromagnetica elementare, cioè quella che opera per una sola sezione della corrente, essere *in ragione inversa del quadrato della distanza*, siccome tutte le altre forze conosciute, e proporzionale al seno dell' angolo formato dalla direzione della corrente e dalla linea che unisce il mezzo di questa sezione con quello della calamita. Ed in fatti calcolando sotto questo principio la somma di tutte le azioni elementari che operano sopra un piccolo ago, mercè una corrente rettilinea indefinita, si trova che la intensione di questa risultante totale deve scemare in ragione inversa della semplice distanza, siccome dall' esperienza è dimostrato.

Segue anche da questa stessa legge della forza elementare, che la intensione della corrente angolare indefinita, quale sarebbe *emf* (*fig.* 355), sopra un ago *ab*, sia in ragione inversa della distanza *am*, siccome quella di

una corrente rettilinea, ma proporzionale alla tangente della metà dell'angolo *emz*; onde prendendo per unità l'intensione dell'azione *cd* sull'ago *ab*, l'intensione dell'azione *emf* sarà espressa da

$$\text{tang}\ \frac{1}{2}\ emz.$$

Il che fu da Biot con l'esperienza verificato; e si vede che se la corrente *emf* si raddrizzi fino a confondersi con *cd*, l'angolo *emz* essendo allora retto, la tangente di $\frac{1}{2}$ *emz* diviene in questo caso uguale all'unità, siccome doveva essere.

226. *Condizione di equilibrio di un ago calamitato sottoposto all'azione di una corrente rettilinea indefinita.* — La legge precedente non è vera se non cominciando da una distanza che sia almeno 5 o 6 volte più grande della lunghezza dell'ago. Per una distanza minore, il fenomeno si presenta sotto un altro aspetto: siano per esempio, *a* e *b* (*fig.* 356) i due poli di un ago orizzontale, *abcd* il cerchio ch'essi posson descrivere, ed *ll'* una perpendicolare sul mezzo *m* dell'ago e prolungata indefinitamente dall'una e dall'altra parte. Ecco quel che osservasi, allorchè si fa operare sull'ago una corrente verticale indefinita, che per maggior semplicità supporremo sempre ascendente, cioè che s'innalza al di sopra del piano della figura.

1.° Allorchè la corrente si trova sopra qualche punto della circonferenza *abcd*, essa non tende più a disporre l'ago in croce con essa, ma lo lascia perfettamente in quiete, non facendolo volgere nè per un verso nè per l'altro.

2.° Quando la corrente trovasi nel quadrante *amc*, essa attrae il polo australe finchè la tocchi; al contrario attrae il boreale, quando trovasi nel quadrante *bmc*: ne' quadranti *amd* e *bmd* essa produce effetti contrari. In conseguenza, l'equilibrio è instabile, allorchè la corrente sta sopra *mc*, ed è stabile quando sta sopra *md*, nell'atto che al contrario si osserva la stabilità sopra *cl*, e la instabilità sopra *dl'*.

In una memoria letta all'Accademia delle Scienze nel 1822, e pubblicata per estratto negli *Annali di Chimica* (t. 21, p. 77), io ho posto in disamina questo fenomeno e tutti quelli che dipendono da' rovesciamenti di azione a piccole distanze, tanto sopra un ago mobile intorno al suo centro, quanto sopra uno mobile intorno ad un punto qualunque. Dall'esperienze e dal calcolo segue, che di tutti questi fenomeni si può rendere ragione mercè il seguente principio, che mi restringo solo ad enunciare: l'azione che si esercita tra una corrente rettilinea indefinita ed il polo di una calamita, formano un sistema di forze parallele uguali e contrarie componenti una coppia; queste forze son perpendicolari alla corrente, e perpendicolari alla più breve distanza dalla corrente al polo della calamita, e la direzione è tale che il polo australe è sempre spinto a sinistra ed il boreale a destra; l'intensione della corrente è in ragione inversa della distanza della corrente dal polo della calamita.

Questo stesso principio fa intendere del pari tutti i fenomeni di equilibrio che presentano gli aghi sotto qualunque condizione, come quelli che nuotano sulla superficie dei liquidi, o quelli che muovonsi intorno ad un punto o ad un asse qualunque.

227. *Moltiplicatore o Galvanometro.* — Poco dopo la scoverta di Oersted, lo Schweiger immaginò il *galvanometro*, ch'ei disse anche *moltiplicatore*, perciocchè esso moltiplica gli effetti della forza elettromagnetica. Questo strumento, il quale è di una prodigiosa sensibilità per le minime tracce di elettricismo in moto, dipende dal fatto, che la corrente circolare o poligona, o generalmente di qualunque forma rientrante, opera con tutte le sue parti per dirigere per lo stesso verso un ago calamitato che essa circonda, e questo fatto è una conseguenza della proposizione generale da noi innanzi fermata (§ 224). Ed in fatti, tutte le parti della corrente che percorre per esempio i lati del rettangolo *pqron* (*fig.* 357) operano della stessa guisa sopra un ago *ab* mobile intorno del centro della figura, il quale possa volgersi perpendicolarmente al suo piano: il lato *no* tende a volgere il polo australe verso la parte dinanzi della figura, ed il polo boreale verso la parte di dietro, lo stesso tendono ad operare le parti della corrente che percorrono i lati *qr*, *or*, *pq*. Onde l'ago dovrà rivolgersi più efficacemente e disporsi perpendicolare al piano della corrente col polo australe in avanti. Un secondo circuito di pari intensione, andando per lo stesso verso genera sull'ago uguale effetto; lo stesso dicasi di un terzo, di un quarto, di un centesimo: un filo conduttore dunque avvolto sopra se stesso per cento giri, dovrà, attraversato dalla corrente, produrre un effetto cento volte maggiore di quello di un filo piegato in un sol giro: è mestieri però che i fluidi percorrano tutte le circonvoluzioni del filo, senza passare lateralmente da un filo all'altro, condizione cui si può agevolmente soddisfare. Si prende perciò un filo di argento o di rame di 15 o 20 metri di lunghezza e del diametro di qualche frazione di

millimetro, si copre con un filo di seta i cui giri sian molto stretti, e si avvolge sopra un piccolo telaio di legno o di metallo, presso a poco siccome il filo sopra un rocchetto: solo i due estremi del filo anzidetto per la lunghezza di 1 o 2 metri si lascian liberi, e questi diconsi *i due fili del moltiplicatore*; la corrente dovrà entrare per l'uno ed uscire per l'altro, l'ago calamitato che deve fare da indice è sospeso ad un fil di cotone, e tutto lo strumento è coperto da una campana che lo difende dalle agitazioni dell'aria. Volendosi fare una sperienza, si volta il telajo nella direzione del meridiano magnetico; l'ago allora si troverà nel piano del telajo; e l'effetto della corrente lo farà declinare da questa giacitura per un angolo più o meno grande, secondo che essa è più o meno energica; qui però la forza elettromagnetica è contrariata dalla forza magnetica della terra, la quale opera continuamente sull'ago per ridurlo nel meridiano magnetico.

Questo primo moltiplicatore è già molto sensibile, ma il Nobili ha renduta la sua sensibilità sommamente maggiore, in vece di un solo ago adoperandone due da formare un sistema astatico. E per fermo se i due aghi *ab* ed *a'b'* (*fig.* 357 e 358) abbjano i loro poli opposti l'uno all'altro in guisa che il loro insieme conservi appena una debole forza direttrice, e se uno di essi si ponga nell'interno del circuito e l'altro all'esterno, egli è facile l'avvedersi che la corrente dovrà operare sull'uno e sull'altro per farli volgere per lo stesso verso; onde l'azione della corrente è quasi raddoppiata, e siccome d'altronde la forza direttrice è ridotta alla millesima o centesima parte, ne segue che niente impedisce la sensibilità di un *galvanometro astatico*.

S'intende tutta volta che per la reazione degli aghi, il loro stato magnetico variando da un momento all'altro, la forza direttrice, e per conseguenza la sensibilità del galvanometro, dovrà benanche variare.

Per legare insieme gli aghi in modo più fermo, si sogliono generalmente fissare agli estremi di un filo di paglia molto dritto, e unirli con un filo metallico.

L'ago superiore si muove sopra un cerchio diviso in 360°, la linea 0 e 180 corrisponde alla direzione del filo sul telajo, in guisa che gli aghi siano perfettamente paralleli al filo quando stanno sullo 0, cioè nella loro giacitura di equilibrio. Le declinazioni crescono al crescere della intensione della corrente, ma s'intende che quelle non possono in alcun modo essere a questa proporzionali, salvo il caso in cui i deviamenti non oltrepassino gli 8 o 10°.

La *fig.* 359 fa vedere un galvanometro compiuto, e la *fig.* 360 rappresenta separatamente il telajo sul quale è avvolto il filo.

In parecchie esperienze giova talvolta adoperare un *galvanometro differenziale*: si chiama così un galvanometro composto con due fili perfettamente eguali per lunghezza, per diametro e per conducibilità; questi due fili sono avvolti sullo stesso telajo, e quando per ognuno di essi si fanno passare due correnti opposte, l'ago indicherà la sola differenza delle loro azioni, in guisa che esso resterà sullo 0 se le correnti siano perfettamente uguali.

Il galvanometro è utile, siccome appresso vedremo, per molte importanti esperienze; ma se per ora si voglia avere un'idea della sua sensibilità, basterà per esempio immergere gli estremi de' suoi fili nell'acqua acidulata, e tosto si vedranno gli aghi mossi dalla corrente; si può anche sulla lamina di rame *ab* (*fig.* 361) mettere un foglio di carta bagnato, e sulla carta una lamina di un metallo *cd*; facendo allora toccare il filo *p* del galvanometro con la lamina *ab*, e l'altro *n* con *cd*, si avrà quasi sempre una corrente più o meno energica: bagnando la carta con acqua alquanto acida o alcalina, la corrente apparirà più vigorosa. Vedremo appresso esser questo effetto dell'azione chimica piuttosto che del semplice toccamento de' metalli diversi. Sarà sempre facile il conoscer la direzione della corrente, dall'osservare la declinazione dell'ago.

228. *Della calamitazione prodotta dalla corrente della pila, e della elettricità comune.* — La corrente elettrica non solo opera sul magnetismo libero, ma è anche atta a decomporre il magnetismo naturale di tutt'i corpi magnetici, ed a calamitare con tanta forza da eguagliare quella delle più poderose calamite. Per rendere aperta l'azione della corrente sul ferro dolce, basterà immergere una porzione del filo che unisce i poli della pila nella limatura di ferro, siccome fece Arago; tosto la limatura si disporrà intorno del filo, e vi resterà unita fintanto che passa la corrente, ma poi si stacca e cade quando il circuito s'interrompe. I piccoli aghi di acciajo presentati alla corrente in simil guisa vi si tengon uniti disponendosi in croce con essa, e separati conservano il loro magnetismo. Frattanto dopo quel che noi abbiam veduto, è chiaro esser necessario, per dare alla corrente tutta la sua efficacia, farla passare trasversalmente intorno all'ago, o per meglio dire intorno ad o-

gnuna delle sue sezioni; il che nel seguente modo si consegue.

Un filo metallico si avvolga in *elica* sopra un tubo di vetro (*fig.* 362), in questo tubo si ponga un ago, e si faccia passare la corrente dall' uno all' altro capo del filo dell' elica: un istante solo basterà per isviluppare tutto il magnetismo che aver si può in questi casi; perciocchè dopo un toccamento, non più lungo della durata di una scintilla, l' ago posto nel tubo si troverà perfettamente calamitato. Il vincer che fa la corrente in un subito, o piuttosto in un istante la resistenza della forza coercitiva, è un notevolissimo fenomeno.

L' eliche son di due generi, alcune *destrorso* (*fig.* 362) nelle quali il filo si avvolge verso la destra, ed altre *sinistrorso* (*fig.* 363) nelle quali il filo si avvolge verso la sinistra, supponendo che si tengano nello stesso modo; ma per darne una più giusta idea basterà dire che quel comune ordigno ordinato a sturare i fiaschi e tutte le viti sono eliche destrorso.

Nell' eliche destrorso il polo boreale dell' ago è sempre da quella parte verso la quale entra la corrente, o altrimenti verso l'estremo positivo del filo; e nell' eliche sinistrorso verso l' estremo positivo trovasi il polo australe dell' ago.

Se sullo stesso tubo si faccian molte eliche contrarie l' una presso l'altra (*fig.* 364), l' ago mostrerà un punto conseguente ad ogni giuntura di due eliche, e però ognuna di queste opera come se fosse sola (1).

Con un' elica due volte rovesciata (*fig.* 364) si avrebbero due punti conseguenti, e così di seguito. Se si facesse in tal modo un' elica a piccolissimi passi, e con giri alternativamente l' uno destrorso e l' altro sinistrorso, si avrebbe tal distribuzione del magnetismo, che l'ago finalmente sembrerebbe aver conservato il suo stato naturale.

La calamitazione per mezzo della elettricità comune fa nascere parecchi singolari fenomeni de' quali ci faremo a discorrere.

1.° La corrente *diretta* che si ha facendo comunicare i conduttori coi cuscini, ingenera debolissimi effetti se si faccia passare per un filo dritto. Gli aghi anche sottilissimi posti trasversalmente al filo e molto ad esso vicini non son calamitati se la corrente è continua; ma essi cominciano a prendere sensibile magnetismo, quando la corrente si fa passare con piccole scintille; e maggiore sarà il magnetismo se più forte siano le scintille e da maggiore distanza scagliate: da ultimo l' azione della corrente della macchina cresce, siccome quella della pila, adoperando l' eliche; allora le vive scintille molto effetto producono sugli aghi che stanno ne' tubi dell' eliche anzidette, ed il Ridolfi è giunto anche con questo mezzo ad avere il magnetismo dalle correnti continue.

2.° Le scariche della boccia di Leida e delle batterie hanno considerabile potere magnetico, tanto se attraversano de' fili dritti, quanto se attraversano l' eliche a passi più o meno stretti (*fig.* 362, 363 e 364). Da prima eransi avuti per l' uno e per l' altro mezzo gli stessi effetti della pila; erasi trovato che presso a' fili dritti gli aghi trasversali si calamitano col polo australe a sinistra, e che nei tubi dell'eliche destrorso si calamitano col polo australe verso il polo negativo, e verso il polo positivo nelle eliche sinistrorso; ma il Savary ha scoperto parecchi notevoli fenomeni, i quali sembrano porre una fondamentale differenza tra le correnti continue della pila, e gli *urti elettrici della batteria* (*Ann. de Chimie*, tom. XXXIV).

Quando l'urto è trasmesso da un filo dritto, degli aghi eguali e paralleli posti trasversalmente e dalla stessa parte del filo, ma a diverse distanze, non sono tutti calamitati per lo stesso verso: alcuni son calamitati *positivamente*, vale a dire i loro poli son disposti come quelli di un ago calamitato da prima, e libero a muoversi sotto l'azione di una corrente placida e continua che attraversi il filo, nell'atto che alcuni altri son calamitati negativamente, vale a dire in verso contrario ai primi.

Savary trovò che queste alternative, e le distanze alle quali esse si mostrano, dipendono per così dire da tutti gli elementi che concorrono alla generazione del fenomeno, cioè dalla intensione della carica, dalla lunghezza del filo teso in linea retta, dal suo diametro, dalla spessezza degli aghi, e dalla loro forza coercitiva. Generalmente i fili sottilissimi, e le debolissime forze coercitive, presentano men numerose alterazioni: e spesso anche sotto queste condizioni, la calamitazione è sempre positiva, ed i periodi son solo distinti dalle diverse intensioni.

(1) In questo modo possonsi appena calamitare de' piccoli aghi, ma variando l' esperienza si possono calamitare anche delle grosse verghe; si faccia un' elica di un filo alquanto grosso e di una certa lunghezza, entro della quale si faccia passare più volte una stessa verga di acciajo, mentre l' elica è attraversata dalla corrente, e poi si rompa il circuito mentre la verga si trova entro l'elica, si troverà dopo calamitata. Elias annunziò questo fatto che io stesso ho verificato, ma non ancora conosconsi le condizioni di massimo.

Quando l' urto è trasmesso da *fili avvolti in elica* sopra tubi di vetro o di legno, genera anche analoghi effetti sopra gli aghi messi successivamente nell' asse de' tubi; allora la sola differenza d' intensione nella carica delle batterie può esercitare grande potere sulla magnetizzazione.

Da ultimo Savary ha scoperto per via di molte aperienze un altro fenomeno il quale par che meriti tutta l'attenzione de'fisici. La quantità di magnetismo che prende un ago sotto l'azione di una carica elettrica, ed anche il verso del suo magnetismo, dipendono dalla natura o dalle dimensioni de' corpi che lo toccano o lo circondano. In un' elica simile alle precedenti attraversata da una scarica elettrica, un ago non può prendere magnetismo se sia posto in un cilindro di rame di molta grossezza; ma il magnetismo comincia a divenir sensibile secondo che la grossezza suddetta si va rendendo minore, la quale se rendasi picciolissima, il magnetismo sarà maggiore di quello che si avrebbe in un ago isolato e messo solo nell' elica. Lo stagno, il ferro, l'argento, se circondan l'ago, vi producono simili effetti, vale a dire che in foglie sottilissime gli danno maggiore attitudine a ricevere il magnetismo: ed in cilindri di una certa grossezza gli tolgono interamente la proprietà di essere calamitato dall' urto elettrico. I cilindri di limatura metallica non producono questo effetto, nell'atto che gli strati concentrici alternativamente metallici e non metallici lo producono; donde par che si debba conchiudere, le interruzioni perpendicolari all' asse dell' ago o dei cilindri esercitare molto potere sulle proprietà dei medesimi. Tutti codesti fenomeni curiosi hanno delle attinenze con i fenomeni d' induzione, de' quali più innanzi sarà trattato.

229. *Della rotazione delle calamite per l' azione delle correnti.* — Il singolare fenomeno della rotazione delle calamite per l'azione delle correnti fu la prima volta indicato dal D. Wollaston e dimostrato da Faraday, quando si aveano ancora imperfettissime idee delle forze elettromagnetiche.

Ecco prima di tutto i particolari delle sperienze: un cilindro di vetro *vv'* è quasi pieno di mercurio, una calamita di figura cilindrica accomodata con un contrappeso di platino *p* si tiene nel mercurio in guisa che il suo polo *a* si alza per alcuni millimetri al di sopra della superficie di livello (questa calamita si vede più in grande nella *fig.* 367); un' asta *t*, che quando si voglia può andare su e giù, s'immerge col suo capo inferiore nel mercurio nell'atto che con l' altro estremo si unisce con un conduttore di rame *c*, il quale comunica con uno de' poli della pila; il conduttore *c'* finalmente che comunica con l'altro polo, passa sugli orli del cilindro e scende nel mercurio tenendosi assai vicino alle pareti; ed affinchè si abbia perfetta simmetria, è conformato ad anello. Posta in opera la pila, la calamita gira per lo stesso verso con un moto più o meno rapido e fa delle successive rivoluzioni intorno dell'asta *t*; sebbene mostri una special tendenza ad accostarvisi, pure non riesce difficile il disporla in guisa che se ne tenga lontana; un vigoroso elettromotore però è necessario per far che la rotazione sia rapida e regolare.

Ma si può l' esperienza ordinare in altra maniera con la quale si ha sempre molta velocità, anche con le pile comuni di 10 o 12 coppie. Questa disposizione è dinotata dalla *fig.* 366. La piccola cavità che trovasi all' estremo della calamita, e con la quale si può unire al contrappeso di platino, forma una specie di piccola coppa *g* (*fig.* 367) la quale si empie di mercurio; la punta dell' asta *t* si abbassa in modo che s' immerga nel mercurio senza toccare la calamita, la quale conserva tutta la sua mobilità; indi si chiude il circuito come nell' antecedente sperienza, la calamita girerà intorno al proprio asse siccome una trottola, e con grandissima velocità.

Facendo l' esperienza nella prima maniera, il moto si farà come se il polo australe fosse spinto verso la sinistra; nel secondo modo il polo rimane immobile, ma il moto succede come nel primo caso in quanto alla sua direzione. Vedremo nel capo IV come si possa di questo fenomeno render ragione.

CAPO III.

AZIONE DELLA TERRA E DELLE CALAMITE SULLE CORRENTI.

230. *Direzioni delle correnti per l'influsso del magnetismo della terra.* — Conosciuta l'azione delle correnti sulle calamite, non era punto da dubitare, che le calamite non dovessero del pari sulle correnti operare ed in varie maniere metterle in moto. Tra tutti questi fenomeni inversi degli antecedenti, quelli che nascer doveano dal potere magnetico della terra eccitavano maggiore curiosità; però si procurò di avere correnti mobili, affinchè si potessero conoscere gli effetti che risultar ne dovessero, allorchè fossero siccome gli aghi da bussola abbandonate al magnetismo terrestre. Questi primi tentativi non ebbero felice riuscita, perciocchè era allora assai malagevole

il dare alle correnti tutta quella mobilità che si desiderava. Riuscì intanto ad Ampère di levar tutte le difficoltà con un ingegnoso metodo di sospensione che si adopera per tutte le correnti mobili. Facciamo vedere in che esso consiste.

La *fig.* 368 rappresenta due colonne di rame *v* e *t* fermate sopra una base di legno; a' loro estremi superiori sono piegate *a cavalletto*, e terminano in due coppe *x*, *y*, i cui centri sono nella stessa verticale: le parti di queste colonne che sembran toccarsi sono tramezzate da sostanze isolanti; onde quando le loro basi comunicano co' due poli della pila nel modo che si dirà fra poco, è chiaro che i fluidi elettrici giungeranno l'uno nella coppa *x* e l'altro nella coppa *y*, e che non si avrà alcuna corrente se non si facciano tra loro comunicare le due coppe, l'una delle quali dicesi *coppa positiva* e l'altra *coppa negativa*, secondo la natura del fluido che ricevono.

Pare esser cosa agevolissima il far pervenire l'elettricità alle basi delle colonne; ma siccome spesso è necessario cambiare le comunicazioni, interrompere il circuito, o invertire la corrente senza muover niente nell'apparecchio, così Ampère ha immaginato un ingegnoso meccanismo che comodamente adempie a questo uffizio.

r ed *r'* (*fig.* 369) son due scanalature di alcune linee di profondità fatte nella grossezza di una tavola di legno (*fig.* 370), la quale si può mettere sulle tavole de'vari apparati elettromagnetici; *v* e *v'*, *t* e *t'* son quattro cavità fatte anche nella tavoletta e comunicanti fra loro per le diagonali mercè due lamine di rame, cioè *ll'* che unisce *v* e *v'*, ed *mm'* che unisce *t* e *t'*; nel punto d'intersegamento sono queste lamine separate con una sostanza isolante, affinchè la corrente non possa passare dall'una all'altra. Le due scanalature e le quattro cavità son piene di mercurio; ma prima sono state inverniciate con resina, affinchè la corrente non possa passare attraverso del legno che le separa.

Posto ciò, immaginiamo che il filo positivo della pila s'immerga nella scanalatura *r* ed il negativo nell'altra *r'*; egli è chiaro che i fluidi non potranno passare nè nell'una nè nell'altra delle quattro cavità *v*, *v'*, *t*, *t'*; ma se pongasi nello stesso tempo una comunicazione tra *r* e *v*, ed un'altra tra *r'* e *t*, il fluido passerà da *v* a *v'* per mezzo della lamina *ll'*, e da *t* a *t'* per mezzo della lamina *mm'*; onde la striscia *b'* che comunica con *v'* sarà positiva, e l'altra *b* che comunica con *t* sarà negativa. Al contrario se, rimettendo le cose allo stato primiero, si faccia comunicare *r* con *t'*, ed *r'* con *v'*, la striscia *b'* sarà negativa e l'altra *b* positiva: or queste due strisce essendo ordinate a far nascere la corrente allorchè sono in comunicazione fra loro per un circuito metallico qualunque, egli è chiaro che la corrente traverserà il circuito per un verso o per l'altro secondo che si porranno due archi conduttori tra *r* e *v* e tra *r'* e *t*, ovvero tra *r* e *t'* ed *r'* e *v'*. Se ora si volga lo sguardo al pezzo conformato ad altalena (*fig.* 370), si vedrà tosto tutto il meccanismo di cui ci resta a parlare. Questo pezzo è di legno ed è girevole intorno all'asse *oo'* che entra ne' buchi *oo'* de' sostegni *p* e *p'*: esso porta quattro archi conduttori metallici, due da un lato in *c* e *c'*, e due altri simili dall'altro lato in *d* e *d'*. Quando questo pezzo è al suo luogo, gli estremi dell'arco *c* corrispondono alla scanalatura *r* ed alla cavità *v*; quelli di *c'* alla scanalatura *r'* ed alla cavità *t*; quelli di *d*, ad *r* ed a *t'*, quelli di *d'*, ad *r'* ed a *v'*; la loro lunghezza è tale che in questa giacitura non toccan punto il mercurio, ma facendo girar l'asse per immergere gli archi *c* e *c'* la corrente passerà da *b'* a *b*, e quando si gira l'asse per immerger gli archi *d* e *d'* la corrente passerà per lo verso contrario da *b* a *b'*.

Tutta questa parte dello strumento si dice *leva* (*bascule*) (1); essa si pone verso le basi delle due colonne *v* e *t* della *fig.* 368, dove abbiamo omesso solo il pezzo mobile che avrebbe impedito di vedere la giacitura rispettiva delle scanalature e delle cavità. Si vede come le strisce *b* e *b'* della *fig.* 369 vanno a metter capo ciascuna alla base di una delle colonne anzidette, e come per esse il fluido possa passare per giungere alle coppe *x* ed *y*: facendo girar l'asse per un verso o per l'altro, ciascuna delle coppe renderassi alternativamente positiva o negativa.

Ciò posto, osserviamo il filo di rame piegato a forma di cerchio (*fig.* 371) il quale è ordinato a divenire una corrente circolare mobile: gli estremi di questo filo sono nella loro

(1) Il Gerbi la chiama *leva*; altri han ritenuta la voce francese, ed a me piacerebbe darle il nome di *commutatore*. Io ne ho fatto eseguire uno più semplice in cui la corrente si può facilmente invertire senza bisogno di mercurio, che riesce incomodo per molte ragioni. Del resto per l'intelligenza dell'apparecchio di Ampère si può anche sopprimere il commutatore facendo comunicare direttamente le colonne co' poli della pila, ed operando a mano la inversione della corrente.

unione tramezzati da una sostanza isolante: i suoi assi son curvati in guisa che corrispondono ai due capi x ed y della *fig.* 368, e terminano in due punte di acciajo, l'una delle quali deve appoggiarsi sulla piccola lastra di vetro alquanto incavata, che forma il fondo delle coppe, e l'altra deve solamente immergersi, nell'altra coppa. L'acqua acidulata, o meglio il mercurio di cui riempionsi le coppe anzidette, fa che la comunicazione sia più perfetta, e quindi si ha una mobilissima corrente circolare.

Il cerchio essendo posto a suo luogo nell'apparato della *fig.* 368, lo si fa attraversare dalla corrente, e tosto vedesi una forza che fa impeto in esso; onde è che gira, fa delle vibrazioni, e finalmente si arresta in una data giacitura alla quale continuamente ritorna se ne venga rimosso. Indi se si faccia girar l'asse per lo verso contrario, invertendo la direzione della corrente, il cerchio farà una mezza rivoluzione, farà delle vibrazioni dall'altra parte, e si arresterà in una giacitura diametralmente opposta. In ambi i casi il piano di equilibrio in cui si ferma è perfettamente perpendicolare a quello del meridiano magnetico. *L'equilibrio stabile avviene quando nella parte inferiore del circuito la corrente è diretta da oriente ad occidente.*

De' circuiti chiusi triangolari, quadrati o di altra figura possono essere del pari sottoposti alla esperienza sullo stesso apparecchio (*fig.* 368), e si avranno gli effetti medesimi: così il rettangolo della *fig.* 372 dirigerassi siccome il cerchio innanzi descritto.

Affinchè l'azione della terra sia, in qualunque luogo, da se stessa neutralizzata, basterà disporre i fili in guisa che dall'una e dall'altra parte dell'asse di rotazione abbian parti simmetriche dalla corrente attraversate per lo *stesso verso*: per esempio, la *fig.* 373 rappresenta un rettangolo che non ha alcuna forza direttrice; in fatti è agevole il persuadersi; osservando sulla *figura* la direzione della corrente, che dall'una e dall'altra parte dell'asse vi son forze eguali che scambievolmente distruggonsi, perciocchè esse tendono a generare una rotazione per lo stesso verso.

231. *Direzione delle correnti verticali per l'azione della terra.* — I precedenti fenomeni sono stati la prima volta posti in disamina in una memoria sul proposito da me presentata all'Istituto (*Ann. de Chimie et de Physique*, t. 21 p. 77); Aug. de la Rive aveva fatto dal canto suo analoghe ricerche, delle quali poco tempo dopo diè conto alla Società di storia naturale di Ginevra (*Bibliotèque universelle*, t. 21 p. 21). Per farsi una giusta idea dell'azione della terra, è mestieri osservare gli effetti della medesima sulle correnti orizzontali e verticali. Ecco prima di ogni altro lo strumento da me adoperato per le ricerche delle correnti verticali. Esso è composto di due vasi cilindrici di rame, l'uno superiore, l'altro inferiore alquanto più grande (*fig.* 374). Questi vasi son perforati nel mezzo da un' apertura alquanto ampia anche di forma cilindrica, nella quale passa l'asta t che termina nella coppa c; la traversa hh' è di materia coibente; essa tien nel suo mezzo una punta con la quale si tiene in bilico sul fondo della coppa c piena di mercurio. I fili v e v' raccomandati alla traversa son piegati per immergersi con un capo nell'acqua acidulata del vase inferiore; una piccola linguetta metallica, saldata sul fondo del primo vase s'immerge nel mercurio della coppa per porre una comunicazione tra l'asta e l'acqua. In tal modo la corrente che entra per io vase inferiore passa nell'acqua acidulata di esso, nel filo verticale, nell'acqua acidulata del vase superiore, nella linguetta, nella coppa, e discende finalmente per l'asta t.

Allorchè si alza l'estremo superiore, o inferiore di uno de' fili per farlo uscire dall'acqua acidulata in guisa che la corrente passi solo per l'altro filo, il sistema si dirigerà e si disporrà nel piano perpendicolare al meridiano magnetico: *quando la corrente è ascendente, il filo per lo quale passa disponesi all'occidente*, o almeno se viene all'oriente non vi trova che una giacitura di equilibrio instabile, che può dalla minima forza esser rotto: il contrario avviene nel caso che la corrente discenda.

Per tal ragione è chiaro che i due fili presi insieme, se siano eguali, diametralmente opposti, egualmente lontani dall'asse, e attraversati da uguali correnti, debbono formare un sistema indifferente all'azione della terra, perciocchè in tutte le giaciture intorno dell'asse i due fili sono animati da forze parallele eguali, e dirette per lo stesso verso, le quali son sempre tra loro in equilibrio. Ma non dee dirsi lo stesso quando i due fili non sono diametralmente opposti, o passi qualche piccola differenza tra essi ne' diametri, nella forma, nella lunghezza, nella distanza dall'asse, o nella conducibilità, per cui nasca qualche ineguaglianza ne' momenti di rotazione. Variando queste diverse circostanze si posson fare molte importanti esperienze. Affinchè l'equilibrio più stabile riesca, si può senza alterare i risultamenti unire gli estremi inferiori del

filo con una strisciolina di rame piegata a cerchio e parallela agli orli del vase.

232. *Rotazione delle correnti orizzontali per l'azione della terra.* — Lo strumento che serve per conoscere il moto delle correnti orizzontali è espresso dalla *fig.* 375; esso consiste in un vase di rame simile a' precedenti; il filo orizzontale *ab* terminato dalle palline *c* e *d* sta in equilibrio sulla sua punta sostenuta dalla coppa centrale, e due corte appendici verticali s'immergono nell'acqua acidulata del vase. La corrente che entra per esempio per la coppa percorre per direzioni contrarie le due metà del filo per passare nell'acqua acidulata e nel metallo del vase, onde tosto generar si vede un continuo moto di rotazione. La rotazione è diretta da oriente in occidente per lo settentrione, quando la corrente va dal centro alla circonferenza, e per direzione contraria, quando va dalla circonferenza al centro del filo.

Il fenomeno, sebbene con minore intensione, accade anche quando la corrente passa per una sola delle metà del filo, facendo l'altra metà di una materia isolante, o non facendola comunicare col liquido.

Ma è chiaro non doversi avere alcun moto in un filo orizzontale, composto di due parti eguali ed attraversato dalla stessa corrente, siccome si vede espresso nella *fig.* 376, sia qualunque l'angolo che fanno tra loro le due parti *ac* e *bc*, perciocchè in una la corrente va dalla circonferenza al centro, e nell'altra dal centro alla circonferenza, per cui tendono a rotare per versi contrari e formano un sistema indifferente: questo sistema però tenderebbe a generare un moto di trasferimento per l'uno e per l'altro verso, secondo la direzione della linea che divide l'angolo *abc* in due parti eguali.

Dopo questa disamina degli effetti generati dall'azione della terra sulle correnti verticali ed orizzontali, agevole riesce l'intendere che se il sistema dinotato dalla *fig.* 377 gira con un moto continuato, allorchè si pone sull'apparato della *fig.* 374, egli è per effetto delle sue braccia orizzontali, e non già pe' fili verticali che formano un sistema indifferente.

233. *Direzioni delle correnti per effetto delle calamite.* — Quel che abbiamo detto intorno alla direzione che il magnetismo terrestre dà alle correnti mobili, basta per indicare la maggior parte degli effetti che dovranno esser prodotti dalle calamite; ma siccome la terra opera continuamente, così per non rendere troppo intrigate le sperienze è mestieri adoperare degli strumenti ne' quali la sua azione resti da se stessa annullata. Il doppio rettangolo per esempio della *fig.* 373 essendo sospeso nell'apparato della *fig.* 368, è chiaro che debba stare in equilibrio in tutte le giaciture, ed avvicinandovi uno dei poli di una calamita potrà essere agevolmente attratto, repulso, o in qualunque altra guisa messo in moto. Quando si fanno queste sperienze si resta in sulle prime maravigliato delle alternative di attrazione e di repulsione che si manifestano per giaciture della calamita appena tra loro diverse: portando uno dei suoi poli un poco più a sinistra o a destra, per poco avvicinandolo e allontanandolo, si osservan tosto delle inversioni nella forza. Tutti questi moti in apparenza tanto varî ed intricati si riducono al principio generale esposto innanzi (§ 226). Per renderne ragione basterà por mente alle varie coppie che risultano dall'azione di ciascun polo sulle diverse parti della corrente, e di osservare in pari tempo la disposizione di queste forze per rispetto all'asse di rotazione e le braccia di leva sulle quali operano; è questo un problema i cui dati possono essere infinitamente varî.

Siam debitori a de la Rive di molte ingegnose sperienze con le quali egli fa vedere come anche le debolissime correnti possano esser dirette dall'azione delle calamite ed anche da quella della terra. I suoi piccoli strumenti formano delle correnti galleggianti, la forma dei quali può esser ad arbitrio variata. Nelle *fig.* 378 e 379 ne abbiamo espressi due. In un pezzetto di sughero ordinato a galleggiare sopra un largo vase di acqua acidulata si fa passare una piccola foglia di zinco *z*, la quale è saldata in *z* ad una striscia o ad un filo di rame *c*, il quale dopo di aver descritta una circonferenza (*fig.* 378) o molti giri (*fig.* 379) penetra nel sughero e scende nell'acqua acidulata dove si trova poco lungi dallo zinco. Tosto che lo strumento è messo sul liquido, si ha una corrente diretta secondo che viene indicato dagli strali, la quale è sufficiente per esser diretta dalla terra e tanto più dalle calamite. Quando per esempio, si presenti al cerchio della *fig.* 378 il polo boreale di una calamita, ad una certa distanza, si vedrà girare intorno a se stesso in una certa guisa, poi correre verso il polo, circondare la calamita, arrivare fin verso il mezzo di essa e poi fermarsi dopo alcune vibrazioni. Se la calamita si porti innanzi o in dietro, l'anello seguirà tali moti per mantenere la sua postura, che è la sola siccome è chiaro nella quale esso trovasi in equilibrio stabile (1).

(1) L'*anello galleggiante* fatto nel modo dall'Au-

234. *Rotazione delle correnti per effetto delle calamite.* — Col polo di una calamita convenientemente disposto per rispetto alla corrente orizzontale della *fig.* 375, si possono produrre tutt' i fenomeni che si avrebbero per l' azione del magnetismo terrestre in tutt' i climi dall' equatore fino a' poli.

1.° Il polo boreale di una verga magnetica essendo presentato *al di sotto* dello strumento ove opera in conformità del magnetismo terrestre, si osserverà un grande acceleramento nella rotazione.

2.° Lo stesso polo al contrario essendo posto *al di sopra* dello strumento, la sua azione sarà opposta a quella della terra; e si può col tenerlo a varie distanze far prevalere la forza della calamita, o quella della terra.

3.° Il polo australe della calamita opera sempre per verso contrario a quello del boreale, e siccome l' azione di ciascuno de' poli genera opposte rotazioni, passando sopra o sotto del piano orizzontale *ab*, egli è chiaro che in questo piano l' azione di ciascuno debba essere perfettamente nulla. Si possono quindi con questo strumento far molte sperienze le cui particolarità potranno essere agevolmente spiegate.

Le sperienze che far si possono con le correnti verticali ascendenti o discendenti della *fig.* 374, non sono nè meno numerose, nè meno varie, nè meno facili a spiegare. Egli è chiaro per esempio, che le due correnti diametralmente opposte, le quali formano un sistema indifferente per lo magnetismo terrestre, lo formano capace di ricevere un velocissimo moto di rotazione dall' azione di uno dei poli di una calamita. Figuriamoci di fatti un cilindro indefinito descritto dal rivolgimento de' due fili verticali *v* e *v'* coi loro prolungamenti: allorchè un polo australe sarà posto in qualche parte al di dentro del cilindro, sia sopra sia sotto le correnti, genererà sempre una rotazione continua diretta per un verso o per l' altro, secondo che la corrente sia ascendente o discendente. Un polo boreale posto solo genererebbe gli stessi fenomeni, ma per verso contrario, in guisa che più non si avrebbe rotazione se i due poli contrari operassero nello stesso tempo da punti ne' quali la loro efficacia fosse eguale.

I poli di una calamita posti fuori del cilindro anzidetto non possono generare rotazione, ma solo dare una certa direzione al sistema mobile.

Gli apparati delle *fig.* 374 e 377 partecipano nello stesso tempo delle proprietà delle correnti orizzontali e delle correnti verticali, e quindi le calamite dovranno produrre sopra di essi effetti composti i quali si potranno facilmente discernere.

Faraday inventò uno strumento semplicissimo, mercè di cui si hanno agevolmente i fenomeni della rotazione continua; questo è dinotato dalla *fig.* 380: *zz'* è un vaso di zinco bucato in mezzo, e porta una piccola traversa sulla quale è saldata in *s* un' asta di rame *sc*; nella coppa in cui termina quest' asta si pone in equilibrio l' apparecchio della *fig.* 377; il mercurio della coppa, e l' acqua acidulata del vaso nella quale s' immerge la striscia circolare, completano le comunicazioni, e la corrente mobile gira rapidamente per effetto delle verghe magnetiche che son poste in *a* al di sotto del vase. Si può a questo strumento dar tale sensibilità che si abbia la rotazione anche per l' azione della terra (1).

tore indicato, sovente per la gran resistenza che incontra nel conduttore umido non può con molta facilità dirigersi nel meridiano magnetico, e però in questo caso gioverà meglio farlo nel modo espresso dalla *fig.* 3 (*tav. agg.*), togliendo cioè il pezzo di sughero e tenendo l' anello sospeso ad un filo. Invece dell' anello si può far uso del cilindro galleggiante espresso dalla *fig.* 4, il quale consiste in un filo di rame ricoperto di seta ed avvolto intorno ad un cilindro di midollo di sambuco, e nel rimanente apparecchiato come l' anello di de la Rive descritto dall' Autore. La corrente che attraversa la spirale cilindrica, la trasforma in una calamita che ha il suo polo nord verso *n* ed il polo sud verso *s*.

(1) Alquanto diverso da questo strumento è il così detto *cilindro girante di Marsh* nel quale si ha la rotazione degli elementi voltaici intorno alla calamita. Se ne può vedere la descrizione nella più volte citata opera del P. Pianciani. Il giro continuo si può anche avere adoperando l' apparecchio espresso dalla *fig.* 4 (*tav. agg.*) Esso è composto di tre parti principali. La prima è uno zoccolo di bosso incavato al di sopra in forma di vaschetta e bucato nel mezzo fin verso il fondo: oltre a questo buco centrale ve n' ha un altro laterale che comunica col primo. La seconda parte è un cilindro calamitato supplito per metà nello zoccolo e guernito di una piccola coppa. La terza parte consiste nel conduttore mobile *xx*.

Per mettere in opera lo strumento conviene empire di mercurio il buco laterale; mettere il conduttore mobile al suo luogo, versando un poco di mercurio nella coppa della calamita e nella vaschetta dello zoccolo, badando di fare in modo che il mercurio posto in questa tocchi appena l' estremo del conduttore mobile. Finalmente uno de' reofori della pila ai fa comunicare col mercurio del buco laterale e l' altro con quello della vaschetta, in tal modo si avrà il giro continuo del conduttore mobile, sia quello dinotato da *xx*, o l' altro indicato da *yy*.

Non vo tralasciare di descrivere il *mulinello di Barlow*. Esso è composto di due parti e di un' ap-

Qui la corrente è generata dall' azione del l' acqua acidulata sul vase di zinco.

235. *Di alcuni fenomeni che si hanno dalle correnti che passano nel vuoto o nei liquidi.* — H. Davy studiò questi fenomeni mercè la grandiosa pila della Società Reale, e noi riferiremo qui due delle sue più importanti esperienze.

1°. Nel fondo di una sottocoppa o di un largo vase di vetro si pone una buona quantità di mercurio sul quale si versa uno strato d' acqua acidulata: i due reofori della pila scendono verticalmente nel mercurio in due punti presso a poco egualmente lontani dal centro e dalla circonferenza: chiuso così il circuito, non si osserva alcun particolare fenomeno; ma tosto che si avvicina al mercurio uno dei poli di vigorosa calamita, il medesimo si vede da prima agitarsi, indi girare, e poco dopo tutta la massa prendere un velocissimo moto di rotazione intorno a ciascuno de' fili siccome intorno ad un asse: la direzione di questi moti dipende da quella della corrente, dalla situazione e dalla natura del polo magnetico che ad essa si avvicina: più energica è l' azione se si fanno insieme operare due poli contrarî di una calamita, l'uno posto sopra e l' altro sotto del mercurio, e fuori l' intervallo de' fili.

2°. Nel fondo di un largo vase di vetro si fanno passare due grossi fili di rame, fuorchè agli estremi superiori, interamente coperti di cera, i quali sorgon perpendicolarmente dal fondo del vase fino all' altezza di circa un pollice. Tra l' uno e l' altro di questi fili vi passa un intervallo di tre pollici. Il vaso essendo pieno di mercurio in guisa che la superficie di livello oltrepassi per una o due linee gli estremi dei fili, si fa passare una vigorosa corrente. Allora si osserveranno i seguenti fenomeni: il mercurio sarà fortemente agitato, la sua superficie al di sopra di ciascuno de' fili s' inalza in forma di piccoli coni dai quali partono delle piccole onde in tutte le direzioni; il solo punto senza agitazione sembra esser quello dove s'incontrano queste onde, nel centro del mercurio in mezzo a' due fili. Indi avvicinando a poco a poco al vertice di uno di questi coni il polo di una verga ben calamitata, si vedrà esso abbassarsi e finalmente tornare a livello; e per una distanza anche minore la verga genera una depressione nel mercurio, ed una specie d' imbuto mobile e vorticoso, la cui cima scende fin quasi all' estremità del filo.

Lo stagno fuso presenta lo stesso fenomeno.

CAPO IV.

DELL' AZIONE DELLE CORRENTI SULLE CORRENTI.

236. Siam debitori ad Ampère della scoperta della scambievole azione delle correnti; e la conoscenza degli svariati fenomeni che ne derivano, non che delle leggi matematiche dalle quali son governati, è quasi interamente a lui dovuto. La teoria generale cui si è elevato, e che ha esposta in una delle opere più importanti dell' età nostra (*Théories des phénomènes elettro-dynamiques, etc. Paris*, 1826), non comprende solo le azioni delle correnti propriamente dette, ma si estende anche alle azioni magnetiche ed a quelle delle correnti e delle calamite fra loro; essa in somma lega ad un sol principio dei fenomeni che fino a quel tempo eransi creduti effetti di cagioni diverse. Vero è che per conseguire questo scopo dovette Ampère ricorrere a certe considerazioni ipotetiche sulla costituzione delle calamite; ma le sue ipotesi son del genere di quelle che i geometri debbono porre per applicare il calcolo a' fenomeni fisici, e poi sembra che dopo le recenti scoperte del Faraday più probabili siano diventate.

Forte ci duole che in un trattato elementare non ci è dato di esporre interamente questa teoria; ma ci adopereremo almeno di far conoscere tutte le principali esperienze che le servon come di fondamento, sostituendo per quanto è possibile un ordine logico all' ordine matematico adoperato da Ampère, e rendendo gli strumenti più semplici per renderli intelligibili.

237. *Azione delle correnti parallele.* Due correnti parallele non possono star di rincontro senza esercitare scambievolmente delle azioni energiche secondo la loro distanza, intensione e lunghezza; qualora si consideri solo la

pendice. Le parti sono un zoccolo quadrangolare di legno (*tav. agg. fig.* 5) che ha due incavi, ed una rotella di ottone mobile in mezzo alle branche di una doppia squadra, che la sostiene sopra uno degli anzidetti incavi. L' appendice poi consiste in una calamita a ferro di cavallo sorretta da un zoccoletto di legno. Riempendo di mercurio la vaschetta sottoposta alla rotella finchè appena la tocchi, del pari che l' altra corrispondente al piede della doppia squadra, si accosta la calamita alla rotella in guisa che questa si trovi fra i poli di quella, i quali debbono trovarsi alquanto più innanzi del punto dove la rotella tocca il mercurio. Disposte così le cose, se uno de' reofori dell' elettromotore si faccia pescare nella vaschetta sottoposta alla rotella e l' altro nella cavità del piede della doppia squadra, il molinello si vedrà prendere il suo moto di rotazione.

direzione delle loro azioni, esse son governate dalla seguente semplicissima legge generale: *Due correnti parallele si attraggono quando vanno per la stessa direzione, e quando vanno per direzioni contrarie si repellono.*

Tuttociò col seguente strumento sarà dimostrato: *abcdef* (*fig.* 381) è un filo di rame piegato a rettangolo, i cui capi estremi si adattano nelle due coppe *x* ed *y*, nelle quali terminano le due colonne *t* e *v*; quando questo rettangolo è posto al suo luogo, la corrente che entra per la colonna *t* lo percorre secondo la direzione degli strali e va ad uscire per la colonna *v*; allora le correnti di *t* e di *de* vanno per lo stesso verso e sono ascendenti, e quelle di *v* e di *bc* vanno anche per lo stesso verso ma sono discendenti, e però si manifesta una forte attrazione la quale riduce continuamente il rettangolo nella giacitura in cui il lato *de* sta vicino a *t* ed il lato *bc* vicino a *v*. Dunque *le correnti, che vanno per lo stesso verso si attraggono.*

Al rettangolo della figura 381 sostituendo quello della figura 382, si avranno delle correnti nel rettangolo e nelle colonne le quali seguono direzioni contrarie, e si osserverà repulsione; dunque *le correnti che vanno per direzioni contrarie si repellono.*

Nel fare queste esperienze è mestieri disporre le cose in guisa che il moto del rettangolo non possa esser considerato siccome effetto dell'azione della terra cui trovasi esposto, nel modo che da noi fu detto innanzi.

La intensione delle attrazioni o delle repulsioni è evidentemente proporzionale alla lunghezza de' lati verticali del rettangolo ed al quadrato della intensione della corrente che circola nello strumento; essa sarebbe anche nella ragione inversa delle semplici distanze, se le colonne *t* e *v* potessero essere considerate siccome infinite per rispetto alla lunghezza delle correnti mobili sulle quali esse operano.

Quando un filo è piegato sopra se stesso (*fig.* 383) in guisa che possano passar per esso due uguali e contrarie correnti, è chiaro non avere alcun potere di attrarre o di repellere, perciocchè le sue azioni tanto sulle calamite quanto sulle correnti si distruggono essendo sempre uguali ed opposte.

238. *Azione delle correnti flessuose.* — L'azione di una qualunque corrente flessuosa equivale a quella di una corrente lineare della stessa lunghezza e della stessa intensione, purchè però queste azioni si esercitino da una distanza grandissima per rispetto alla grandezza delle sinuosità. Questo appunto dimostrasi mercè la colonna della *fig.* 384, la quale è composta da una lamina di metallo e da un filo di rame coperto di seta che comunica con essa dalla parte di sopra, e discende serpeggiando siccome si vede nella figura. Questa lamina può esser situata ad una certa distanza dalla colonna *v*, ed allora quando la corrente è discesa per questa colonna si fa salire per la lamina, affinchè discenda di nuovo pel filo, e si vedrà che questo sistema non ha alcuna azione sul rettangolo mobile cui trovasi molto vicino. Onde la lamina ed il filo tortuoso costituiscono solo una corrente ascendente ed un'altra discendente i cui effetti a vicenda si distruggono: l'azione dunque del filo flessuoso equivale a quella della lamina.

Segue da ciò, potersi sempre sostituire ad una piccola corrente curvilinea o la sua corda *ab*, o le sue due proiezioni *ac* e *bc* (*fig.* 385) le quali facciano tra loro un angolo qualunque. Se il filo flessuoso dell'antecedente sperienza fosse avvolto a spira, il suo effetto sul rettangolo sarebbe anche eguale a quello della corrente lineare: frattanto non si potrebbe conchiudere che ad una spirale si possa sempre un filo sostituire, ma solo che nel caso di cui si parla la sua risultante sarebbe la stessa.

239. *Azione delle correnti incrocicchiate.* — Chiamiamo correnti *incrocicchiate* quelle che non sono parallele, sia che stiano nello stesso piano talchè le loro direzioni possano incontrarsi, sia che si trovino in piani diversi, e che le loro direzioni non si possono incontrare: nel primo caso il punto d'*incrocicchiamento* è il punto d'incontro; nel secondo caso è uno de' punti della minima distanza tra le correnti. *Due correnti incrocicchiate tendono sempre a divenir parallele e ad andar per lo stesso verso*, o in altri termini, *regna attrazione tra le parti che entrambe si allontanano dal punto d'incrocicchiamento o entrambe vi si avvicinano, e repulsione se una tende ad allontanarsi e l'altra ad avvicinarsi al punto anzidetto.*

Così *ab* e *cd* (*fig.* 386) essendo due correnti il cui punto d'incrocicchiamento è in *r*, vi deve essere attrazione tra le due parti *ar* e *cr*, perciocchè esse si avvicinano ad *r*, e tra le parti *br* ed *rd* che se ne allontanano; ma vi deve essere repulsione tra *ar* ed *rd*, perchè l'una si avvicina ad *r* e l'altra se ne allontana, ed anche per la ragione medesima repulsione tra *cr* ed *rb*.

Lo strumento dinotato dalle *fig.* 387 e 388 è fatto per dimostrare questa proposizione: in un disco di legno sono incavati due canaletti semicircolari separati da' tramezzi isolanti *a* e *b* (*fig.* 388); si eleva dal centro un perno, sul

quale si pone in bilico un mobilissimo ago di rame *cd* i cui estremi son di ferro e son piegati in guisa che pescano nel mercurio contenuto ne' canaletti; alquanto sotto di quest' ago se ne trova un altro *ef* che si fa muovere con la mano, ed i cui estremi vanno del pari ad immergersi nel mercurio de' canaletti: la corrente che entra per la coppa *x* passa per entrambi gli aghi e va ad uscire per la coppa *y*. La repulsione si rende aperta col porre gli aghi nelle giaciture *cd* ed *ef* (*fig.* 388), e l'attrazione mettendoli in un'altra qualunque giacitura in cui l' angolo *crf* sia minore del retto.

Segue da ciò, che una corrente piegata ad angolo *abc* (*fig.* 389) tende a raddrizzarsi, poichè le parti *ab* e *bc* si repellono.

Cotesta repulsione non solo tende a ridurre *bc* nel prolungamento di *ab*, ma continua tuttavia ad operare anche quando questo si fosse avverato, cioè *le parti contigue di una stessa corrente rettilinea si repellono.* Siffatta conclusione, la quale nella teoria di Ampère è importante, non mi pare ben dimostrata. Ecco lo strumento che suolsi adoperare: un vase di vetro pieno di mercurio è diviso in due parti da un tramezzo coibente *ab* (*fig.* 390); un filo di rame coperto di seta è piegato in modo che possa passare da un compartimento all'altro, ed avendo in ciascuno di essi un braccio orizzontale parallelo al tramezzo; queste braccia si son rivestite di cera, fuorchè all' estremità dov' esse curvansi un poco per immergersi nel mercurio. Facendo arrivare i due poli della pila nel prolungamento de' due rami del filo, si vede esso interamente rinculare, il che sembra annunziare una repulsione tra la parte della corrente che penetra nel filo e quella ch'è ancora nel mercurio; ma non essendo ancora ben conosciuta la maniera come una corrente passa da un liquido in un solido, non può questa conseguenza essere tenuta come perfettamente rigorosa: basterebbe per esempio che una porzione della corrente si presentasse obbliquamente al filo per veder tosto nascere una certa repulsione.

210. *Rotazione di una corrente per l' azione di una corrente.* — Figuriamoci una corrente fissa indefinita *ab* (*fig.* 391), ed una corrente *cd* mobile parallelamente a se stessa: il punto d' incrocicchiamento essendo in *r*, vi sarà attrazione nell' angolo *brd* tra le parti *rb* e *cd*, le quali vanno entrambe allontanandosi dal vertice dell' angolo o dal punto d' incrocicchiamento; al contrario nell'angolo *ard* vi sarà repulsione, perciocchè la parte *ar* si avvicina nell' atto che *cd* si allontana: queste due forze fan nascere una resultante parallela *ab*, la quale tende a spingere costantemente la parte *cd* da *a* verso *b*. Se la corrente fissa *ab* sia piegata in forma di cerchio, egli è chiaro che *cd* dovrà rotare indefinitamente mercè l' azione medesima.

Il che si ha con lo strumento rappresentato nella figura 392.

azsb (*fig.* 392) è una striscia di rame coperta di seta; piegata in elica, ed adattata intorno al vase di rame *v*; *ci* è un conduttore che comunica con la base della colonna a coppa *p*, la quale porta il filo *m*, e *d* comunica col vase *v*. Se il polo positivo della pila si ponga in *a*, ed il negativo in *d*, dopo aver posta una comunicazione tra *b* e *c*, e ripieno il vase *v* di acqua acidulata, si avrà una corrente la quale cammina nell'elica da *z* in *s*, facendo il giro del vase, e che discende nelle braccia verticali del filo, il quale girerà secondo *zis*: se all'opposto si mette il polo positivo della pila in *b*, e il polo negativo tuttavia in *d*, dopo aver aperta comunicazione tra *a* e *c*, la corrente andrà nell' elica da *s* in *z*, facendo il giro del vase; sarà ognor discendente nelle braccia verticali del filo, il quale allora girerà per lo verso contrario, cioè secondo *siz*. Questo rovesciamento di rotazione basta per dimostrare che la rotazione non è l' effetto dell' azione della terra, perciocchè la corrente essendo sempre discendente nel filo, l' azion della terra la farebbe girare sempre per lo stesso verso.

Savary ha ricavato un' altra conseguenza dallo stesso principio: quando in un vase di rame simile al precedente, ma senza elica, si pone l' ordigno della figura 393, si osserverà anche una rotazione continua della quale nel seguente modo si rende ragione: il braccio verticale *n* del filo essendo isolante, la corrente discende solo per lo braccio *l*, e percorre la striscia di rame secondo la direzione *abc*, perciocchè questa striscia è interrotta tra *c* ed *a* da una lamina di avorio; dalla striscia la corrente dirigesi verso gli orli e verso il fondo del vaso, attraversando il liquido; e queste parziali correnti del liquido potendo essere considerate come fisse per rispetto alla striscia mobile, s' intende che questa debba girare per lo verso *cba*, e che roterebbe ancora per lo stesso verso se la corrente passasse dal liquido nella striscia, invece di passare da questa in quello. Per fare che la rotazione procedesse in verso contrario, sarebbe mestieri interrompere la striscia a sinistra della sua congiuntura con *l*, invece d'interromperla a destra, il che viene dall' esperienza fermato. Ma quando la striscia è continua,

siccome vedesi nella figura 392, le correnti del liquido non hanno più potere, essendo le loro azioni distrutte, perciocchè, come è chiaro, sono eguali ed opposte.

Teoria del magnetismo e delle scambievoli azioni delle calamite e delle correnti, considerando le calamite siccome unioni di correnti.

241. Il principio di questa teoria consiste nel supporre ogni molecola di una calamita circondata da una corrente particolare, la quale continuamente si muove nell' interno o nell' esterno della molecola, formando così un circuito chiuso e rientrante sopra se stesso, al quale per maggior semplicità si può attribuire la forma circolare. Dopo ciò, se s' immagini in una verga cilindrica un semplice filo di molecole parallelo all' asse, la loro unione formerà il sistema rappresentato nella figura 394, tutti gli altri fili paralleli facendo nascere simili sistemi; la verga magnetica altro non sarà che un fascio composto di una infinità di questi; ma è chiaro che tutti i circuiti elementari contenuti in una stessa sezione perpendicolare all' asse potranno essere rappresentati da un sol circuito che ne sarebbe la risultante, e che finalmente la verga calamitata potrebbe riguardarsi come un aggregato di correnti circolari, tutte dirette per lo stesso verso, e contenute in piani paralleli fra loro e perpendicolari all' asse della verga, coi loro centri posti sull'asse medesimo, quando la magnetizzazione è regolare.

Ciò che diciamo di una verga cilindrica può dirsi del pari di un ago o generalmente di una calamita di qualunque forma: basterà sempre considerare l' asse magnetico, ed intorno ad esso delle correnti circolari di grandezza finita perpendicolari alla sua direzione, e procedenti per lo stesso verso.

Dopo ciò, è agevole imitar le calamite se non perfettamente almeno con una maggiore o minore approssimazione: perciocchè basterà prendere un filo di metallo coperto di seta, e farci passare una corrente, dopo di averlo avvolto, nel modo espresso dalla figura 395, in cerchi separati da porzioni rettilinee. Questi sistemi di correnti diconsi *cilindri elettrodinamici*, ovvero *selenoidi*: v'ha sempre qualche differenza tra i selenoidi e le calamite, perciocchè i cerchi de' selenoidi non sono affatto chiusi, essendo in comunicazione tra loro, ed è una la corrente che gli attraversa. Ma queste differenze non posson punto impedire la general simiglianza degli effetti: in oltre basterà avvolgere il filo nel modo espresso dalla figura 395, per neutralizzare l' effetto della porzione rettilinea del filo che unisce i varî cerchi, perciocchè allora in questa linea vi saranno due eguali ed opposte correnti.

Un filo avvolto in elica (*fig.* 396) non differisce dall' antecedente selenoide, ed il filo dritto ripiegato nell' asse neutralizza del pari l' effetto dell' obbliquità di ciascun giro dell' elica.

Per dimostrare tutti i fenomeni di un ago o di una calamita non si dovrebbe sempre avvolgere il filo sopra un cilindro, ma più spesso sopra coni opposti (*fig.* 397), o sopra forme di altra guisa, le quali non fossero neppure superficie di rivoluzione.

Nell' ipotesi della quale parliamo, il globo terrestre si deve supporre come penetrato da correnti interne parallele all'equatore magnetico; ma in ogni luogo si potrà sempre considerare che l'insieme dell'azione di tutte queste correnti si riduce all' azione di una sola corrente ipotetica, alla quale si dovrà per conseguenza attribuire una intensione, ed una giacitura propria a rappresentare l' insieme degli effetti. A questa corrente noi diamo il nome di *corrente media della terra*: sull'equatore magnetico la corrente media è in un piano verticale, ma in tutti gli altri luoghi è più o meno inclinata. Vediamo ora come la sua direzione e giacitura si possa determinare.

242. *Direzione della corrente terrestre.*— È agevole il dimostrare che *la corrente media della terra sia diretta da oriente verso occidente*. E per fermo, la parte più energica di questa corrente essendo sensibilmente orizzontale in ciascun luogo, basterà sottomettere alla sua azione una corrente verticale mobile intorno di un asse anche verticale, ed osservare le sue giaciture di equilibrio. Or noi abbiamo dimostrato antecedentemente (§ 231), che sotto l' azione della terra una tale corrente mobile si dirige sempre perpendicolarmente al piano del meridiano magnetico, e che si ferma all'est, quando essa è discendente, ed all'ovvest, quando è ascendente. La corrente terrestre dunque è anche essa perpendicolare al piano del meridiano magnetico, e va dall'est all'ovest. Frattanto questa sperienza che ci fa agevolmente conoscere la direzione della corrente terreste, non ci dà alcun indizio di sua giacitura; essa può passare nello stesso luogo dell' osservazione verso il settentrione o il mezzogiorno, siccome vedesi nella *fig.* 398: se essa fosse per esempio a mezzogiorno in *cd*, lo stesso risultamento produrrebbe; im-

perciocchè g essendo la proiezione dell' asse di rotazione, ed hik la circonferenza che può descrivere la corrente mobile, che noi supporremo ascendente, egli è chiaro che questa corrente mobile essendo in h sarebbe respinta dalla corrente terrestre dr, la quale si avvicina al punto d'incrocicchiamento, nell'atto che quella se ne allontana; e che sarebbe al contrario attratta da cr, che come essa si allontana dal punto d'incrocicchiamento: mercè questa doppia forza essa procederebbe verso il punto i, che sarebbe la sola giacitura di equilibrio. Lo stesso ragionamento farebbesi per la corrente ef, posta al nord del luogo dell' osservazione.

243. *Giacitura della corrente terrestre. In ogni luogo la corrente terrestre trovasi in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione.* — Per dimostrare tutto ciò basterà osservare che quando una corrente rettangolare $abcdef$ (*fi.* 399) è bene equilibrata intorno del suo asse di rotazione, ed è spinta solo da una corrente gh a questo asse parallela, è mestieri per la stabilità dell' equilibrio: 1° che il suo piano coincida con quello determinato dall' asse e dalla corrente; 2° che esso cammini parallelamente alla corrente col suo lato che le è più vicino. Questa conseguenza, la quale non dipende dalla direzione dell' asse di rotazione, si applica evidentemente al caso in cui questo asse sia orizzontale, del pari che la corrente che muove il rettangolo. Per conseguenza se l'ordigno della figura 400 diriggasi in modo che l' asse di rotazione sia parallelo alla corrente terrestre, cioè, dopo quel che abbiam detto, perpendicolare al piano del meridiano magnetico, egli è chiaro che il piano, nel quale la corrente rettangolare si disporrà in equilibrio, sarà precisamente quello in cui trovasi la corrente terrestre; or facendone l' esperienza si trova che il piano di equilibrio è perpendicolare all'ago d'inclinazione.

Questo risultamento, il quale è difficile a rendere giustissimo, per cagione dell'attrito, è anche confermato dall' insieme delle osservazioni.

Una corrente circolare di altra figura produrrebbe gli stessi effetti.

Dopo di aver conosciuta la giacitura e la direzione della corrente media della terra, ci faremo ad applicare la teoria alla spiegazione de' varî fenomeni.

Azione della terra sulle correnti.

244. *Direzione delle correnti chiuse.* — I lati orizzontali del rettangolo della figura 401 essendo attraversati da correnti contrarie, non debbono esser soggetti ad alcuna direzione per parte della corrente terrestre, dalla quale sono egualmente lontani; e però nel rettangolo son solo da considerare le due correnti verticali; una delle quali deve dirigersi verso l' oriente e l' altra verso l' occidente, siccome non ha guari dicemmo. Ondo il rettangolo dovrà disporsi perpendicolarmente al meridiano magnetico, ed essere in equilibrio stabile, quando il lato discendente è rivolto verso l' est, e l' ascendente verso l' ovest; e questo appunto abbiamo osservato (§ 230).

Lo stesso ragionamento si applica al cerchio della figura 402, ogni quadrante del quale può essere, per rispetto all' azion terrestre, rappresentato dalle sue projezioni orizzontali e verticali, in modo che esso si trasforma in un rettangolo.

Lo stesso avverrebbe di ogni altro circuito chiuso contenuto in un piano verticale e mobile intorno di un asse anche verticale.

Rotazione delle correnti orizzontali. — La corrente orizzontale ab, mobile intorno al punto a, essendo spinta dalla corrente terrestre, ch' è anche orizzontale, posta al di sotto di essa verso il sud (siccome è indicato dalla figura 403), deve girare per lo verso $bcdf$, quando la corrente cammina dalla circonferenza al centro, e per lo verso $bfdc$ quando al contrario va dal centro alla circonferenza. Infatti nella giacitura ab, le correnti dello strumento e della terra essendo parallele e dirette per lo stesso verso, vi deve essere un' attrazione che tende a ridurre in c il punto b: in questa giacitura ro respinge ca ed rh l' attrae, e però deve continuare il suo giro fino a d; ivi si ha una repulsione tra le correnti parallele ed opposte, ed in f attrazione di ro e repulsione di rh; onde la corrente ab deve continuamente rotare, siccome abbiamo osservato.

Azione della terra sulle calamite.

245. *Declinazione.* — Poichè una corrente circolare chiusa dirigesi perpendicolarmente al meridiano magnetico, segue che un aggregato di un numero qualunque di cerchi paralleli fra loro, ed attraversati da correnti dirette per lo stesso verso, dovranno disporsi nella stessa direzione: ora un tale aggregato non è altro che un selenoide orizzontale; un selenoide orizzontale dunque dovrà voltarsi in modo che il suo asse si disponga nella direzione dell' ago di declinazione, col lato della corrente rivolto verso l' ovest: il che si verifica

appunto mercè il selenoide della figura 401, il quale si accomoda nell' ordigno della figura 368.

Quindi segue che non solo l' ago di declinazione può essere assimilato ad un selenoide, ma che il polo australe delle calamite, cioè quello che dirigesi verso il nord, sia quello nel quale il lato ascendente si trova *a destra*, quando si guardi di rincontro *dall' estremo*; o che vale lo stesso, quando un ago di declinazione è in equilibrio, le correnti della sua superficie *inferiore* vanno dall' *est* all' *ovest*, siccome la corrente terrestre.

Inclinazione.—Poichè una corrente chiusa, mobile intorno ad un asse perpendicolare al meridiano magnetico, si dirige in un piano perpendicolare all' ago d' inclinazione, egli è chiaro che un selenoide bene equilibrato, il cui asse di figura fosse mobile nel meridiano magnetico, si disporrebbe in equilibrio perfettamente nella direzione dell' ago d' inclinazione. Sarebbe certamente malagevole il fare dei selenoidi mobilissimi per rendersi certo di questo fatto con una sperienza diretta; ma possiam contentarci dell' approssimazione che si ha mercè lo strumento della figura 400, per mostrare che anche nell' inclinazione l' ago magnetico somiglia veramente ad un selenoide.

Variazioni diurne e perturbazioni.— Nella ordinaria teoria del magnetismo, si può rendere ragione di questi fenomeni, supponendo delle particolari modificazioni del magnetismo terrestre; e s' intende non incontrarsi maggiori difficoltà nell' attribuire queste modificazioni ad un cambiamento nella corrente elettrica, anzi che ad un cambiamento nella distribuzione magnetica.

Azione scambievole tra le calamite e le correnti.

246. *Direzione delle calamite per effetto delle correnti.* — Noi abbiam compendiati i differenti effetti dell'azione primitiva osservata da Oersted, col dire che *la corrente tende a volger l' ago in croce con essa, col polo australe rivolto a sinistra* (§ 224). Procuriamo ora di vedere come di questo fatto generale si possa render ragione, considerando la calamita come un selenoide. Or se noi consideriamo una corrente verticale fissa ed ascendente *ab* (*fig.* 405), ed una corrente rettangolare mobile intorno all' asse orizzontale *cd*, egli è chiaro che il piano del rettangolo diverrà verticale, il lato *ef* tendendo a montar su e il lato *gh* a discendere; perciocchè nel lato *ef* la corrente allontanandosi dal punto d' incrocicchiamento per rispetto alla corrente *ab*, sarà attratto dalla parte superiore di questa corrente e respinto dalla parte inferiore, ed avvenendo il contrario per lo lato *gh*, il piano del rattangolo si ridurrà verticale; giunto in questa giacitura esso tenderà a voltarsi in guisa da passare per la direzione della corrente verticale *ab*, perciocchè il lato verticale più vicino è attratto e l' altro è respinto. Onde allorchè una corrente rettangolare perfettamente mobile sia mossa da una corrente verticale fissa, tenderà a volgersi in un piano verticale che passi per la direzione della corrente fissa, ed a disporvisi in guisa che il suo lato più vicino vada per lo stesso verso dell' anzidetta corrente fissa.

Se noi intanto considereremo tre correnti rettangolari equidistanti (*fig.* 406), egli è chiaro che quella di mezzo sarà nel piano verticale della corrente fissa, le altre due essendo tirate da forze la cui risultante sarà in questo piano. Se in vece di considerarne solamente tre, supporremo un selenoide composto di una infinità di rettangoli, ne seguirà per la stessa ragione che l' asse di esso debba disporsi *in croce con la corrente.* Questo risultamento si applica ad un cerchio del pari che ad un rettangolo; onde, qualunque selenoide sul quale operi una corrente si disporrà in croce con essa.

Possiamo aggiunger di più che il polo australe sia verso la sinistra; perciocchè la sinistra della corrente essendo dietro il piano della figura 407, se si tenga la faccia rivolta verso l' estremo del selenoide, che sta dietro questo piano, si vede di fatto che si ha la corrente ascendente a destra, il che è il segno del polo australe (§ 245). Laonde in ultimo risultamento, la condizione di equiliario tra un selenoide ed una corrente rettilinea è che la sezione media del selenoide e la corrente siano nello stesso piano, e che il polo australe di questa sia verso la sinistra della corrente.

Cotesta direzione del selenoide libero o della calamita una volta dimostrata, s' intende quanto agevole sia il conoscere le condizioni di equilibrio delle calamite che si possono muovere solo intorno di un dato asse o sopra un dato piano, siccome le calamite galleggianti; come anche le condizioni di equilibrio delle correnti sulle quali le calamite possano esercitare la loro forza.

Rotazione delle calamite per effetto delle correnti.—Allorchè la calamita si rivolge intorno a se stessa, siccome nella figura 408. Ampère spiega la rotazione nel seguente modo: *abcd* essendo la sezione dello strumento

fatta secondo la superficie del mercurio, ed *af* essendo una delle correnti che strisciano sulla superficie del mercurio per giugnere all'anello di rame per lo quale debbono uscir dal vase, la parte *ab* è attratta da *af*, nell'atto che *ad* è repulsa; in conseguenza la calamita dovrà rotare per lo verso contrario a quello della corrente che la costituisce. Al contrario quando la corrente passa dal mercurio nella calamita, questa dovrà rotare nella direzione della sua corrente.

Allorchè la calamita descrive un cerchio intorno al conduttore immerso nel mercurio (*fig.* 409), la spiegazione riesce alquanto più intricata, e noi la riferiremo tal quale si trova nell'opera di Ampère.

» Rappresentiamo la sezione orizzontale del selenoide col piccol cerchio *etft'* (*fig*, 409), il cui centro sia in *a* e la circonferenza *etft'* sia una corrente elettrica dalla quale è composta: supponendo che questa corrente circoli secondo *etft'*, essa sarà attratta dalle correnti del mercurio quali sarebbero *p,u,z*, le quali nella figura si trovano alla destra di *etft'*, perciocchè la mezza circonferenza *etf*, nella quale la corrente va per lo stesso verso, è più vicina di *ft'e*, dove la corrente va per direzione contraria. Sia *as* questa attrazione oguale alla differenza delle forze esercitate dalle correnti *p,u,z* sopra le due semicirconferenze, la quale passa necessariamente per lo loro centro *a*, perciocchè essa risulta da forze che queste correnti esercitano sopra tutti gli elementi della circonferenza *etft'*, le quali lor sono perpendicolari e seguono perciò la direzione dei raggi di questa circonferenza. La stessa corrente *etft'* del selenoide è al contrario repulsa dalle correnti le quali, siccome *p',u',z'*, sono nella figura alla sinistra della corrente *etft'*, perciocchè sono in direzione contraria nella semicirconferenza *ft'e* la più vicina a *p'u'z'*. Sia *as'* la repulsione che risulta dalla differenza delle azioni esercitate dalle correnti *p',u',z'* sopra le due semicirconferenze *ft'e*, *etf*, essa sara eguale ad *as*, e farà col raggio *cad* l'angolo $das' = cas$, perciocchè le cose sono uguali dall'una e dall'altra parte di questo raggio: la risultante *ar* di queste due forze gli sara perciò perpendicolare, e siccome essa passerà per lo centro *a* del pari che le sue componenti *as*, *as'*, il selenoide non avrà alcuna tendenza a girare intorno al proprio asse, siccome in fatto osservasi sulla calamita galleggiante che rappresenta questo selenoide; ma invece essa tenderà continuamente a muoversi secondo *ar*, perpendicolare al raggio *cad*. E siccome quando si fa questa sperienza con una calamita galleggiante, la resistenza del mercurio distrugge sempre la velocità acquistata, perciò si vede questa calamita descriver la curva perpendicolare a tutte le rette che come *cad* passano per lo punto *c*, cioè la circonferenza di cui *ac* è il raggio ».

Rotazioni delle correnti per effetto delle calamite. La spiegazione di questo fenomeno dipende da un principio generale, il quale non si può dimostrare direttamente con la sperienza, ma che si può solo col calcolo ricavare dalle proprietà attrattive e repulsive delle correnti da noi innanzi dimostrate. Questo principio generale può essere enunciato così: la risultante di tutte le azioni che un selenoide indefinito esercita sopra una corrente rettilinea di piccola estensione, è una forza perpendicolare al triangolo che ha per base la corrente e per vertice l'estremità dell'asse del selenoide. Questa forza è applicata nel mezzo della lunghezza della corrente, e non dipende dalla direzione dell'asse del selenoide, purchè l'estremo di essa resti sempre nello stesso punto.

Onde se *ab* (*fig.* 410) sia una piccola corrente rettilinea, ed *s* l'estremo dell'asse di un selenoide indefinito, cioè tale che l'altro suo estremo *s'* possa essere considerato come infinitamente lontano, la risultante *mv* dell'azione del selenoide sulla corrente *ab* sara perpendicolare al piano *sab*, ed applicata al punto *m* che è nella metà di *ab*; essa non dipende poi punto dalla curvatura e dalla direzione dell'asse *ss'*, il quale può avere tutte le possibili giaciture intorno al punto *s*, senza che la risultante soffra alcun cambiamento di grandezza e di direzione (1).

Non potendo dimostrare questo principio, ci adopereremo di applicarlo ad alcuni casi particolari affinchè si possa giudicar di sua giustezza.

1.° Se la direzione dell'elemento passi per l'estremo *s* dell'asse del selenoide, l'azione si

(1) Tutto questo basta per lo scopo che noi ci proponiamo. Frattanto per coloro che vorranno più compiutamente intendere il principio, aggiungeremo che la risultante di cui si tratta è in ragion diretta

1.° Della intensione della corrente del selenoide

2.° Della intensione della corrente dell'elemento *ab*

3.° Della lunghezza *ab* dell'elemento

4.° Del seno dell'angolo *ams*,

e che nello stesso tempo essa è in ragione inversa del quadrato della distanza *ms*. NOTA DELL'AUTORE.

ridurrà a zero; il che è facile a dimostrare direttamente per mezzo del principio enunciato.

ab essendo la corrente elementare (*fig.*411), ed *s* l'estremo del selenoide, figuriamoci una piccola corrente circolare che abbia il centro in *s*, e sia in un piano perpendicolare ad *sab*; tiriamo un diametro qualunque *ed*, e consideriamo i due elementi *x* ed *y*, diametralmente opposti: tra l'elemento *x* ed *ab* vi è attrazione, perciocchè entrambi si avvicinano al punto d'incrocicchiomento; ma tra l'elemento *y* ed *ab* v'ha un'attrazione uguale e contraria che distrugge la prima; e siccome accade lo stesso in tutti gli elementi diametralmente opposti, chiaramente ne segue che l'azione del cerchio sull'elemento debba essere perfettamente nulla. Lo stesso deve dirsi di tutti i cerchi del selenoide indefinito, il cui asse sia nel prolungamento di *ab*.

Lo stesso accaderebbe anche se il primo cerchio del selenoide fosse in un piano che passa per l'elemento *ab*, e se l'asse del selenoide fosse perpendicolare a questo piano (*fig.* 412); perciocchè i cerchi del selenoide essendo infinitamente piccoli per rispetto alla distanza *sa*, le azioni opposte, siccome quelle che risultano da due elementi consecutivi in *c* e da due elementi consecutivi in *d*, sempre distruggonsi.

2.° Se la direzione dell'elemento *ab* non passa più per l'estremo dell'asse del selenoide, ma sia per esempio perpendicolare al medesimo ad una certa distanza *sa* (*fig.* 413), vi sarà allora una resultante perpendicolare al triangolo *sab*: ed in fatti gli elementi *e* ed *f* paralleli alla corrente *ab* produrranno degli effetti uguali e contrari; ma i due elementi simmetrici *x* ed *y* della parte superiore genereranno una risultante verticale *mv*, ed i due elementi *x'*, *y'* della parte inferiore egualmente simmetrici faran nascere una risultante verticale, diretta per lo stesso verso della prima; onde la risultante dell'intero cerchio sarà verticale, e però perpendicolare al triangolo *sab*.

Questi esempi particolari bastano a darci un'idea de' fondamenti sopra i quali il principio generale si appoggia. Vedremo intanto come per mezzo di questo principio si spiega la rotazione delle correnti verticali od orizzontali prodotte dalle calamite.

Correnti verticali. Sia *ab* (*fig.* 414) una corrente verticale mobile intorno dell'asse *zx*, ed *s* sia l'estremo dell'asse *ss'* di un selenoide: la risultante dell'azione del selenoide è perpendicolare al triangolo *sab*, in tutte le giaciture che la corrente può avere intorno del suo asse di rotazione; e però la corrente dovrà girare con moto continuato. La direzione di questo moto varia con quello della corrente *ab*, del pari che col polo del selenoide o della calamita, siccome innanzi osservammo (§ 234).

Correnti orizzontali. Lo stesso ragionamento si applica alla corrente orizzontale *ab* (*fig.* 415).

Azione scambievole tra le calamite.

. 247. ***Attrazione e repulsione delle calamite.*** Figuriamoci un selenoide che indefinitamente si estenda dall'una e dall'altra parte del punto *m* (*fig.* 416), e nel quale la corrente proceda per lo verso indicato dalle frecce; figuriamoci poi che questo selenoide sia tagliato in *m*, e che le due parti siano tra loro allontanate nel modo espresso nella figura 417. Dalla nostra definizione (§ 245) segue: 1.° che l'estremo *a* sia un polo australe, perciocchè ponendosi con la faccia rivolta verso il cerchio che la termina, si vedrà che la corrente ascendente trovasi a destra; 2.° che l'estremo *b* sia un polo boreale, perciocchè rivolgendo la faccia verso l'estremo cerchio del selenoide, si vedrà che la corrente ascendente trovasi a sinistra. Onde tagliando un selenoide perpendicolarmente al suo asse, i due poli che ne risultano son sempre di nomi contrari, siccome avviene spezzando una calamita.

In oltre è chiaro che i poli contrari *a* e *b* de' due selenoidi debbano attrarsi; imperciocchè, considerando solo i cerchi estremi, si vede che le correnti sono in essi parallele e procedenti per lo stesso verso, nè diversamente va la cosa per gli altri. Dimostrasi poi per mezzo del calcolo che quest'attrazione segue la legge della ragione inversa del quadrato della distanza che separa i poli *a* e *b*; il che forma un'altra nuova e fondamentale analogia tra i selenoidi e le calamite.

Dimostrandosi poi (siccome abbiamo nel § 246 indicato), che l'azione di un selenoide indefinito non dipende in verun conto dalla giacitura che il suo asse può avere intorno all'estremo dello stesso, segue che i due selenoidi della figura 417 posson comunque giacere l'uno intorno al punto *a*, l'altro intorno al punto *b*, senza cessar mai di attrarsi con la stessa efficacia.

Onde quando si taglia un selenoide indefinito, nascon due poli i quali si possono perfettamente paragonare a quelli che vengon fuori rompendo una lunga verga magnetica.

Quando un selenoide ha determinata lun-

ghezza siccome *ab* (*fig.* 418), i suoi due poli *a* e *b* sono, come è chiaro, l'uno australe e l'altro boreale: imperciocchè voltandosi con la faccia verso l'estremo *a*, la corrente ascendente resterà a destra, nell'atto che resterà a sinistra quando la faccia si volti verso l'estremo *b*. Ora tagliando il selenoide definito si avrebbero effetti analoghi a quelli de' selenoidi indefiniti, almeno in quanto alle direzioni, ma non in quanto alla intensione; imperciocchè qui i secondi poli di ciascun selenoide non essendo più infinitamente lontani, è mestieri por mente anche alla loro azione

Due selenoidi definiti per conseguenza, quali sarebbero *ab* e *a'b'* (*fig.* 419), i quali operino l'uno sull'altro, producono, siccome due calamite, un sistema di quattro forze, due attrattive e due repulsive; le attrattive secondo *ab'* e *ba'*, e le repulsive secondo *aa'* e *bb'*.

248. *Calamitazione.* — Nella teoria della quale discorriamo, i corpi magnetici, siccome il ferro dolce o l'acciaio non calamitato, si si suppongono avere delle correnti intorno alle molecole onde sono formati. Si debbon però fare rispettivamente ad essi parecchie diverse ipotesi.

1ª *Ipotesi.* Si suppone che le correnti sian dirette confusamente per tutte le direzione possibili; onde l'effetto delle loro azioni al di fuori dev'essere nullo; perciocchè quelle che operano per un verso distruggon le altre che operano per un verso opposto.

2ª *Ipotesi.* Si suppone che quando una qualunque esterna cagione opera sulle correnti, esse in tutto o in parte si dispongano in un certo ordine per ubbidire all'azione della forza che fa impeto sopra di esse.

3ª *Ipotesi.* Se il corpo non abbia forza coercitiva, siccome il ferro dolce, si suppone che la cagione esterna cessando di operare, le correnti ritornino nella primiera confusione, per loro scambievole azione; ma se il corpo sia dotato di forza coercitiva, siccome l'acciaio, allora supponsi che le correnti, disposte una volta nell'ordine necessario a formar de' selenoidi, si tengan ferme nell'ordine medesimo, ad onta delle cagioni interne che turbar lo potrebbero.

Da tutto ciò apparisce che il calamitare consiste nella disposizione delle correnti le quali erano preesistenti ne' corpi magnetici: se queste vanno per un verso, i poli si mostrano in un modo; e se vanno per lo verso contrario, anche i poli presenterannosi in ordine inverso.

Restano certamente a farsi delle belle ricerche sulle correnti molecolari, tanto per dimostrare la loro esistenza in una maniera più diretta, quanto per giungere alla cagione che le produce, e finalmente per venire in conoscenza delle principali circostanze, delle modificazioni ch'esse ricevono dal calorico o dagli altri agenti della natura: ma aspettando queste nuove ricerche, ci è sembrato necessario esporre con qualche estensione una teoria la quale pone parecchie importanti connessioni tra i fenomeni magnetici ed elettrici.

CAPO V.

VARIE CAGIONI DELLE CORRENTI ELETTRICHE.

Poichè il ricomporsi de' due fluidi elettrici forma le correnti, segue che tutte le cagioni atte a svolgere l'elettricità possono generare le correnti: perciocchè i due fluidi son sempre nello stesso tempo sviluppati, e siccome ognuno de' fluidi essendo libero tende ad unirsi ad una egual dose di fluido contrario, perciò basterà di render possibile questa unione per veder generata una corrente. Par che si dovesse egualmente tener per vero l'opposto, cioè che interrompendo la corrente si debbano aver sempre le due elettricità contrarie in istato di quiete e di tensione; ma questo non sempre può essere per esperienza dimostrato, o perchè i nostri mezzi di osservazione non han sufficiente delicatezza, o perchè in certi casi la circolazione della corrente è una condizione senza la quale l'elettrico non si può sviluppare. Senza pronunziare alcun giudizio intorno a questa quistione, ci restringeremo a dire che quattro sono le cagioni di tutte le correnti finora conosciute, cioè: le azioni meccaniche, le azioni fisiche, le azioni chimiche, e le azioni fisiologiche: metteremo successivamente in disamina le principali circostanze di loro formazione e le maniere particolari per renderle sensibili.

I. *Azioni meccaniche.*

248. Lo *strofinio*, la *pressione* ed il *distaccamento* sono tre generi di azioni meccaniche, le quali possono essere l'una dall'altra distinte per rispetto alla elettricità che sviluppano; quantunque non si sappia se esse generino negli atomi o ne' gruppi molecolari modificazioni veramente diverse.

Lo *strofinio* può essere in mille modi variato; ma nelle macchine comuni si è procurato di soddisfare alle condizioni mercè le quali si possa il maggiore effetto conseguire. Quando in vece di accumulare elettricita sopra i conduttori si voglia ridurla a corrente, basterà

porre un filo di comunicazione tra il conduttore ed il ricettacolo universale; questo filo sarà allora traversato dalla corrente, quasi fosse il reoforo di una pila più o meno vigorosa, ed in fatti esso opera sull' ago magnetico. La sua azione però è assai debole: una gran macchina, dalla quale si hanno rapide e sfolgoranti scintille di notabile lunghezza, genera una corrente sì debole, che per potersi assicurare di sua esistenza è mestieri adoperare un sensibilissimo moltiplicatore; una macchina di Nairne molto vigorosa produce appena 30 o 40 gradi di declinazione sopra un ago astatico di un moltiplicatore di 500 giri (*Colladon*, *Annales de Physique et de Chimie* t. 23 p. 62). In queste sperienze importa più che mai di far che i varî giri del moltiplicatore siano bene isolati l' uno dall' altro. e però è mestieri che il filo abbia doppia o triplice copertura di seta, e poi sia anche vestito di taffettà coperto di gomma, o pure sia calato in un bagno di resina fusa e mescolata con gomma lacca.

Quando gli estremi del moltiplicatore non toccano i conduttori, ma siano tenuti ad una certa distanza da' medesimi, la corrente è più debole e la sua intensione par che sia nella ragione inversa della distanza, almeno per le distanze comprese tra un decimetro ed un metro.

Se le correnti prodotte dalle macchine sono così deboli in confronto di quelle provenienti dalle pile voltaiche, ciò sicuramente dipende alla prodigiosa celerità con la quale i fluidi si trasmettono, e dalla lentezza con cui lo strofinio gli svolge. Del resto non si è finora dimostrato che l' elettricità in una sola maniera si trasmette attraverso de' conduttori, nè si potrà questa quistione risolvere se non con la misura precisa della quantità dei fluidi che passano, e degli effetti che producono.

Molti tentativi si son fatti per iscoprire in qual modo lo strofinio sviluppi l' elettricità, ma non è stato possibile di giungere ad alcuna conoscenza precisa. Alcuni Fisici, dopo lunghe discussioni, che non posso qui riportare han detto, la separazione de' fluidi derivare dallo scuotimento e dallo smovimento delle molecole; ma con questa spiegazione nulla si spiega; perciocchè nel cambiamento di stato de' corpi v' ha certamente smovimento e scuotimento di molecole, e frattanto non si ha elettricità, sonovi dunque altre cagioni a noi ignote.

Altri però suppongono, lo strofinio da cui nasce l' elettricità esser sempre accompagnato da un' operazione chimica, impedita la quale non si ha più elettricità. Questa sentenza tiene per appoggio la seguente sperienza del dottor Wollaston (*Ann. de Physiq. et de Chim.* t. 16 p. 53). Una macchina elettrica rinchiusa in un vase entro del quale poteasi mutar l'aria, dava o non dava elettricità, secondo che il vase era pieno d' aria comune o di acido carbonico; ma questa sperienza non basta per dimostrare irrefragabilmente che tutta l'elettricità risultante dallo strofinio sia l' effetto dell' azione chimica da questo cagionata, e non dell' azione meccanica del medesimo. Per risolvere indubitatamente la quistione sarebbe mestieri determinare la natura e la quantità dell' azione chimica, prodotta dallo strofinio, e paragonarla alla quantità de' fluidi decomposti.

Se la vera origine della elettricità di attrito non ci è dato di potere assegnare, ci adopereremo almeno di additare le circostanze dalle quali costantemente la sua generazione sembra essere modificata. Le molte sperienze fatte sul proposito possono essere nelle seguenti proposizioni compendiate.

1°. Due corpi solidi, deferenti o coibenti che siano, prendon sempre con lo stofinio, l' uno elettricità vitrea e l' altro resinosa, purchè si adoperino tutte le cautele nell' asciugarli, nell' isolarli, ec.

Lo strofinio tra solidi e liquidi pare sufficiente a sviluppare l' elettricità in molte congiunture. Il mercurio sotto questo punto di vista sembra tra i liquidi più efficace.

Lo strofinio in certi casi opportuni potrebbe anche sviluppare l' elettricità tra i soli liquidi.

Lo strofinio de' gas tra loro, o di un gas con un liquido, ovvero con un solido, non sembra che generi elettricità in alcun caso, almeno quando i gas non sono carichi di particelle solide o liquide.

2°. Quando la temperatura di un corpo si eleva, esso acquista una tendenza a prendere l' elettricità resinosa; e siccome questa tendenza non è sempre la stessa per gli eguali aumenti di temperatura, ne segue che strofinando due corpi che abbian diverse temperature, quello che ad una temperatura più bassa prenderebbe l' elettricità vitrea, prenderà l' elettricità resinosa ad una temperatura più alta; segue anche che due pezzi di una stessa materia, tuttochè perfettamente simili e sottoposti allo stesso attrito, possono sviluppare elettricità sol che abbiano temperature diverse, il più caldo prendendo sempre l' elettricità resinosa.

3°. Lo stato della superficie del corpo può anche esser cagione per cui esso per attrito si carichi dell' una o dell' altra elettricità: generalmente osservasi che le piccole scabrosità danno particolarmente a' coibenti una tendenza a caricarsi di elettricità resinosa. Onde stropicciando insieme due lastre dello stesso vetro,

l' una che abbia il suo pulimento e l' altra cui le sia stato tolto con lo smeriglio, la prima si caricherà d' elettricità vitrea e la seconda di elettricità resinosa: v' hanno frattanto delle altre cagioni le quali generano l' effetto medesimo, siccome abbiam veduto avvenire al distene (§. 192).

4°. Una lamina metallica prende sempre l'elettricità vitrea, quante volte sia stropicciata con polvere più o meno sottile dello stesso metallo (*Bequerel, t.* 2. *p.* 117): se ne fa l' esperienza facendo toccare uno de' piatti del condensatore da una coppa nella quale sia raccolta della sottil limatura metallica, più o men velocemente menata sopra una lamina dello stesso metallo, la quale si tiene fra le mani; l' elettricità di cui il condensatore si carica, dimostra che la limatura ha preso l' elettricità resinosa mercè il suo rapido strisciar sulla lamina.

5°. Due lamine di metalli diversi tra loro stropicciate sviluppano elettricità tale da produrre una sensibile corrente; se ne può fare l' esperienza ponendo queste lamine a' due estremi del filo del moltiplicatore, e poi stropicciandole l' una con l' altra; la declinazione dell' ago per un verso o per l' altro fa conoscere la natura de' fluidi che sviluppansi sopra ciascuna lamina, e però si è potuto formare la seguente tavola, nella quale ciascun metallo è vitreo stropicciato con quello che lo segue, ed è resinoso rispettivamente a quello che lo precede (*Becquerel, t.* 2, *p.* 114):

Antimonio	Argento	Platino
Arsenico	Oro	Palladio
Cadmio	Rame	Cobalto
Ferro	Stagno	Nickel
Zinco	Piombo	Bismuto.

6°. La tensione della elettricità sviluppata per istrofinio non dipende punto dalla velocità, dalla pressione, dall'estensione delle superficie che si toccano, dalla grossezza de' corpi che si stropicciano e dalla maniera di stropicciarli (*Péclet, Ann. de Phys. et de Chim., t.* 57 *p.* 337).

La semplice pressione senza strofinio laterale, esercita sulle molecole de' corpi un' azione meccanica, la quale sicuramente non è la stessa di quella dello strofinio, quantunque sia difficile l' assegnare con precisione in che consista questa differenza; la pressione intanto può anche sviluppare elettricità siccome abbiam veduto (§. 216).

Becquerel ha costrutto un grande strumento per osservare questi fenomeni, e dalle molte sue ricerche sembra risultare che la quantità de' fluidi che si svolgono è proporzionale alla pressione; ma non pare possibile il presentare questi risultamenti come espressione di una legge generale, perocchè non si sono fatte sperienze sopra i liquidi; ed i gas, che sono tanto compressibili, non han dato alcun segno di elettricità.

Il clivagio si fa più o men facilmente nella maggior parte dei corpi lamellati che abbian regolari cristallizzazioni, siccome il talco, la mica, il solfato di calce, di barite, il feldespato, il topazio, ec. Se si fissino due manichi isolanti sopra le due larghe facce di una sottile lamina di uno di questi corpi, e tirando questi manichi la lamina anzidetta si divida in due, le sue parti si mostreranno elettrizzate, l' una di elettricità vitrea, l' altra di elettricità resinosa.

Questa elettricità essendo molto debole non se ne può avere una sensibile corrente.

Azioni fisiche.

Le azioni fisiche mercè le quali l' elettricità si sviluppa sono: le azioni capillari, le azioni del calorico, del magnetismo e dell' elettricità; non potendosi finora affermare che in qualche caso anche l' azione della luce possa separare i fluidi elettrici.

249. *Azioni capillari.* Becquerel attribuisce all' azione capillare i fenomeni elettrici da lui nei seguenti casi osservati.

All' uno dei capi di un sensibilissimo moltiplicatore si adatta un cucchiaio di platino pieno di acido nitrico puro, e dall' altro capo dello stesso filo una spugna di platino diligentemente lavata nell'acido nitrico, e poi riscaldata fino alla incandescenza; indi questa spugna s'immerge nell' acido del cucchiaio, e tosto si osserva una declinazione nell' ago del moltiplicatore; la direzione della corrente fa conoscere che la spugna ha preso l' elettricità negativa; ma dopo pochi momenti si osserva una corrente contraria.

Quando l' acido è allungato nella metà del suo peso di acqua, si osserva solo la prima corrente, e non la seconda inversa.

L' acido idroclorico concentrato produce gli stessi effetti dell' acido nitrico puro, ma in ordine inverso.

Questi fatti son forse troppo pochi e troppo intricati per poterne conchiudere in una maniera generale che le azioni capillari sviluppino elettricità.

250. *Fenomeni termo-elettrici.* — L' azione del calorico non solo opera su la turmalina ed altri cristalli per renderli elettrici, siccome

altrove dicemmo (§. 217), ma opera anche sopra i corpi deferenti e particolarmente sopra i metalli per isvolgere in essi delle correnti più o meno energiche, le quali furono scoperte nel 1821 dal dottore Seebeck di Berlino: queste correnti dette *termo-elettriche*, per ragion della loro origine, formano oggi, sotto il nome di *termo-magnetismo*, una delle branche più importanti dell'elettro-magnetismo. Noi qui facciamo solo conoscere le principali circostanze che accompagnano la produzione di queste correnti; ma in uno dei seguenti capi ci adopereremo di dichiarare le notabili leggi della loro intensione.

Le ricerche che sonosi fatte intorno alla generazione di queste correnti possono essere riunite in alcune proposizioni generali che ci faremo successivamente ad esporre.

Prima proposizione. Due fili metallici essendo insieme saldati coi loro capi, in modo da fare un circuito chiuso di qualunque figura, saranno attraversati da una corrente più o meno energica, sempre che le due saldature abbiano temperature diverse, e la corrente durerà finchè la temperatura si conserva.

Questa proposizione, per un caso particolare, dimostrasi con lo strumento indicato dalla figura 420: *ss'* è un cilindro di bismuto; *scs'* una verga o lamina di rame curvata e saldata agli estremi *s* e *s'* del cilindro di bismuto; *ab* è un ago magnetico bilicato sul suo perno. Le saldature *s* ed *s'* essendo alla temperatura dell'ambiente, il piano verticale dello strumento si dispone nel meridiano magnetico: allora se la saldatura *s* per esempio si riscaldi, l'ago si vedrà più o meno declinare; e se si raffreddi al di sotto della temperatura esterna, l'ago soffrirà una declinazione in contrario.

Questi moti dell'ago ora per un verso ed ora per l'altro, ci rendon certi della presenza di una corrente elettrica, la quale dirigesi per un verso, quando la saldatura *s* è più calda dell'altra *s'*, e per lo verso opposto, quando *s'* è più calda di *s*. E questa conclusione resta anche fermata operando sulla saldatura *s'*, invece di operare sulla saldatura *s*.

Non tutti i metalli danno effetti così sensibili come quelli che si hanno dal rame e dal bismuto; ma in questi casi in vece di adoperare un solo ago, se ne uniscon due da formare un sistema astatico, siccome si vede nella figura 421: la lamina superiore *scs'* ha una fenditura per la quale può passare l'ago inferiore, e il perno si eleva fino all'ago superiore.

Per dimostrar come le minime differenze di temperatura tra il bismuto ed il rame sian capaci di svolgere sensibilissime correnti, si adopera lo strumento espresso dalla figura 422.

Finalmente per un grandissimo numero di esperienze è necessario adoperare il moltiplicatore: ma i *moltiplicatori termo-elettrici* debbono generalmente esser composti di fili molto grossi, ed aver pochi giri, siccome appresso diremo (c. VI); se coi due estremi del filo di rame di uno di questi moltiplicatori si tocchi per esempio un pezzetto di bismuto o d'antimonio, si vedrà che la minima differenza di temperatura tra i due punti di contatto genera nell'ago una considerabile declinazione.

Per osservare con questo mezzo le correnti termo-elettriche, che si hanno da due metalli, siano quali si vogliano, siccome dal ferro o dal platino, per esempio, basterà dividere in due parti un filo di platino, ed unire ciascuna di queste metà a ciascuno estremo del moltiplicatore, in modo che si tocchino il più perfettamente che sia possibile; allora, purchè queste giunture siano alla stessa temperatura, il moltiplicatore con questi fili di platino avrà le stesse proprietà che avrebbe, se fosse composto interamente da questo filo, vale a dire toccando ora con un filo di ferro i due estremi del moltiplicatore, si avranno delle correnti le quali risulteranno dalla differenza di temperatura tra i due punti di toccamento del ferro e del platino.

Sottoponendo i varî metalli a questa prova, o ad altre simili, si giunge facilmente a dimostrare la proposizione generale da noi enunciata; ma si conosce nello stesso tempo, le differenti coppie metalliche non avere sotto questo riguardo la stessa efficacia, perciocchè nelle stesse circostanze alcune danno vigorose correnti ed altre invece le danno sommamente deboli.

Si è anche procurato di classificare con questo mezzo i metalli, secondo la tendenza che hanno per l'elettricità positiva o negativa: i risultamenti che sonosi avuti si trovano notati nella seguente tabella, nella quale ciascun metallo è positivo per rispetto a tutti quelli che seguono, e negativo rispettivamente a quelli che precedono:

Antimonio	Ottone	Cobalto
Arsenico	Rodio	Palladio
Ferro	Piombo	Platino
Zinco	Stagno	Nickel
Oro	Argento	Mercurio
Rame	Manganese	Bismuto.

Becquerel ha osservato che il ferro ed il platino cambian posto ad altissime temperatu-

re; ma cotesta inversione non sembra costante; perciocchè non mi è accaduto mai di osservarla in molte sperienze, delle quali si parlerà nell'articolo del *Pirometro magnetico*, ordinato a misurare le più alte temperature.

Seconda proposizione. Quando si riscalda o si raffredda qualche punto di un circuito chiuso, composto di un sol metallo omogeneo, si hanno in certi casi delle più o meno sensibili correnti.

Il bismuto e l'antimonio par che siano i metalli più atti a far conoscere questo notevole fenomeno: così prendendo un pezzo di antimonio di qualunque forma, e ponendo sopra una delle sue facce un piccolo ago calamitato gentilmente sospeso, si troveran sempre intorno al medesimo parecchi punti i quali essendo riscaldati producono per un verso o per l'altro una sensibile declinazione in un ago calamitato: questa osservazione fu fatta anche dal Seebeck.

Parecchi fisici hanno con diligenza esaminate questo notabile fenomeno: Yelin, Cumming e Sturgeon sonosi particolarmente adoperati a dar forme regolari a' pezzi di bismuto e di antimonio, o a formare con questi metalli dei circuiti rettangolari, ellittici, circolari, ec., ec., per determinare i punti più efficaci, e le direzioni delle correnti che risultano dal riscaldamento o dal raffreddamento di questi punti. Ma per ora sembra non potersi affermare alcun principio generale sulla direzione e sul vigore di queste singolari correnti; imperciocchè circuiti simili e di grandezze diverse danno quasi sempre diversi risultamenti. Alcuni osservatori attribuiscono questi effetti a certi gruppi cristallini che si generano durante il raffreddamento dei metalli, i quali son di ostacolo alla uniforme diffusione del calorico per ogni direzione. Questa sentenza non è senza fondamento, ma ci sembra richiedersi più dirette osservazioni per poterla più giustamente vera dichiarare.

Becquerel ha dato a questo fatto singolare una estensione maggiore; egli ha fatto conoscere, il fenomeno accadere anche sopra i fili di platino; ed indagando con la sua solita sagacia le circostanze dalle quali sono modificati i risultamenti, ha fermato il seguente principio: allorchè un filo di platino forma un circuito chiuso, e sopra un punto di sua lunghezza si trovi qualunque ostacolo, capace di rallentare la propagazione del calorico, se il filo si riscaldi poco lungi da questo punto, si genera una corrente che in questo intervallo si dirigerà verso l'ostacolo, e percorrerà, seguendo questa direzione, tutta l'estensione del circuito.

Onde facendo sì che i due capi di un filo di platino tocchino i due estremi di un moltiplicatore, e tenendo queste unioni alla stessa temperatura per impedire gli ordinarî effetti termo-elettrici, si avranno delle correnti da a verso b, quando il filo si riscaldi in a, dopo di averlo piegato ad elica in b, o anche dopo di aver fatto un semplice nodo, siccome vedesi nella figura 423.

Simili effetti si hanno dal rame quando sia un poco ossidato, onde aggrappando in b i due capi del moltiplicatore (*fig.* 421) e riscaldando in a, si ha una corrente diretta da a verso b, quando i fili non siano perfettamente privi del verderame (*Becquerel, t. 2, p. 40*).

Frattanto il Nobili adoperando metalli più ossidabili, come ferro, zinco e antimonio, ha ottenuto correnti inverse (*Bibl. univ. de Genève, t. 27 p. 118*).

251. *Fenomeni d'induzione.* — Cotesti fenomeni sono stati scoperti da Faraday nel 1831; essi dopo hanno ricevuto un' estensione importante, siccome si dirà nel capo VIII; ma i fatti più capitali possonsi nel seguente modo riassumere.

Quando un circuito deferente chiuso comincia a ricevere in qualcheduno de' suoi punti l'azione di qualunque corrente, esso è attraversato da una corrente inversa; quando resta dal ricevere quest' azione, è attraversato da una corrente diretta; durante il tempo finalmente in cui riceve quest' azione in una maniera uniforme, non è da corrente veruna attraversato, nè soffre alcuna apparente sensibile modificazione.

Additeremo l'esperienze per mezzo delle quali la verità di questa proposizione apparisce, quando il circuito chiuso è sottoposto all'azione di una calamita, di una corrente o della terra.

1° *Circuito sottoposto all'azione di una calamita.* Un filo metallico vestito di seta e lungo 100 o 200 metri si avvolga sopra un rocchetto di legno o di metallo (*fig.* 429), la cui apertura interna sia larga in guisa che possa entrarvi una calamita, i due estremi di questo filo si faccian comunicare con quelli di un galvanometro che stia bastantemente lontano, e tosto che entro il rocchetto si faccia entrare il polo di una calamita, si vedrà l'ago del galvanometro con più o meno forza declinare, ma tornare subito dopo in quiete, e restarvi per tutto il tempo in cui la calamita resta al suo luogo, ma di nuovo

declinare per lo verso opposto quando la calamita si toglie. È agevole poi l'avvedersi che questa corrente è inversa, e cammina in direzione contraria a quella della calamita, allorchè questa *comincia* ad operare, e che è diretta e procede per la stessa direzione di quella della calamita, quando questa *resta* dall' operare, ossia quando si toglie dal rocchetto.

Quando il galvanometro è molto sensibile, non è necessario avvolgere un filo tanto lungo sul rocchetto; si può talvolta far di meno di un filo piegato sopra se stesso, e mostrare l'effetto in una maniera più semplice con un sol filo che unisce i due capi del galvanometro per chiudere il circuito: allora avvicinando destramente a questo filo una calamita, indi allontanandola, ed avvicinandola poi di nuovo, si osserveranno sensibilmente vibrazioni nell'ago del galvanometro. L'esperienze di questo genere è chiaro potersi infinitamente variare.

2° *Circuito chiuso assoggettato all' azione di una corrente.* Sopra un rocchetto simile all'antecedente si avvolgano nello stesso tempo due fili coperti di seta (*fig.* 431): l'uno è ordinato a far passare la corrente di una pila più o meno vigorosa, l'altro a ricevere l'azione *induttiva* di questa corrente; gli estremi di questo secondo filo sono perciò uniti con quelli del filo del galvanometro. Poste le comunicazioni, si fa passare pel primo filo la corrente, e tosto l'ago del galvanometro annunzia nel secondo filo una corrente d'induzione inversa, cioè che va in direzione contraria alla inducente; indi l'ago torna a zero e resta fermo: ma interrompendo il circuito della pila, l'ago annunzia nel secondo filo una nuova corrente d'induzione diretta; cioè che va per la stessa direzione di quella della pila.

3° *Circuito chiuso assoggettato all' azione della terra.* Si è avuto qualche fenomeno sottoponendo alla sola azione della terra de' fili più o meno lunghi avvolti in eliche, o piegati a rettangolo di cui si è cambiato alternativamente la giacitura (*Ann. de Chim.*, *t. 30, p. 116 et 124 ; Bibl. universelle, t. 40, p. 136*); ma questi fenomeni non sono stati ben posti in disamina da poterne noi qui discorrere (1).

Nella prima delle esperienze da noi indicate, il circuito chiuso comincia a ricevere l'azione della calamita, quando questa si avvicina, e resta dal riceverla nel momento in cui si allontana. Ma l'azione magnetica può cominciare e finire di un' altra maniera: essa può incominciare nel momento in cui i fluidi magnetici si decompongono, e cessare nel momento in cui si ricompongono; or la proposizione generale si applica anche a questo caso, siccome può vedersi con la seguente esperienza:

ab è una poderosa calamita a ferro di cavallo (*fig.* 430); *mcn* un pezzo di ferro dolce piegato anche a ferro di cavallo, le cui braccia son circondate da numerosi giri di uno stesso filo; la direzione del filo deve esser tale che nel passarvi una corrente le due braccia *m* ed *n* diventin poli contrari; i due estremi di questo filo si uniscono ad una conveniente distanza dal ferro e dalla calamita, ed un semplice ago calamitato è sottoposto all' azione di questo circuito chiuso. Allora se la calamita *ab* si accosti destramente alle braccia *m* ed *n* l'ago annunzierà una corrente inversa, ed una corrente diretta se si allontani: onde la decomposizione e la composizione de' fluidi magnetici sviluppa delle correnti inverse e dirette nel circuito chiuso sottoposto alla loro azione.

Egli è facile l'intendere, che non è l'influsso diretto de' poli sopra i giri del filo che fa nascere questa corrente d'induzione, perciocchè questa corrente acquista una tale intensione, che se si avvicinino solamente i due estremi del filo fin presso a toccarsi, si vedrà balenare tra essi una viva scintilla, tanto nell' avvicinarsi della calamita *ab* al ferro dolce *mcn*, quanto nell'allontanarsi; questa scintilla elettrica è dunque prodotta dalla sola azione magnetica. Similmente se i fili si tengan con le mani nude, se ne avrà una scossa, che può essere paragonata a quella di una piccola boccia di Leida, purchè la calamita sia molto vigorosa.

Le correnti che in tal modo si sviluppano per lo decomporsi e ricomporsi de' fluidi magnetici, sono bastantemente vigorose, in guisa che una verga di ferro dolce, circondata da un filo avvolto in elica, eccita in questo filo una intensa corrente, quando, dopo di averla disposta nella direzione dell'ago d'inclinazione, si volta in guisa da ridurre in basso il capo ch'era in alto ed al contrario.

Nella seconda delle esperienze ordinate a dimostrare la proposizione generale, la corrente inducente comincia ad operare quando

(1) Queste parole dell' Autore ci fanno supporre ch' ei non conoscesse tutte le sperienze del Nobili e dell' Antinori e quindi neppure le mie. Ma ora le induzioni telluriche non invidiano negli effetti quelle delle calamite, siccome si farà chiaro dal supplimento che segue.

comincia a percorrere il primo filo, e finisce d' operare quando resta; si potrebbe perciò supporre che gli effetti siau generati da alcune modificazioni che accompagnano tanto il cominciare quanto il finire della corrente. A togliere ogni dubbio il Faraday ha fatto vedere con alcune esperienze che gli stessi effetti si hanno quando una corrente attraversando un filo per un certo tempo, le sia avvicinato un altro filo ordinato a ricevere le induzioni.

Laonde quando noi diciamo che l' azione *incomincia* sopra un circuito chiuso, conviene intendere che la corrente inducente comincia il suo corso, ovvero che essendo già stabilita in modo permanente, comincia ad operare, perchè si avvicina di più al circuito chiuso, queste due maniere di azione cagionando effetti perfettamente simili. Come anche quando diciamo che l'azione *resta* dall' operare sopra un circuito chiuso, conviene intendere o che la corrente inducente resta di fatto dall' operare perchè finisce di esistere, o che resta perchè dal circuito chiuso si allontana.

Reazione dei giri di un' elica. Alla proposizione generale innanzi dimostrata dobbiamo aggiungere un fatto, il quale potrebbe forse esserne una conseguenza, se meglio si conoscessero le condizioni meccaniche del moto de' fluidi che costituiscono le correnti; questo fatto è l' accrescimento di splendore o piuttosto l'aumento che riceve la scintilla elettrica, quando interrompesi un circuito composto di molte circonvoluzioni di uno stesso filo tra loro vicinissime.

Figuriamoci una pila comune, composta di dodici elementi anche debolissimi: si sa che questa potrà appena dare picciolissima scintilla, quando si uniscono i due fili che le servono di poli, o quando dopo di averli tenuti uniti, si separano. Questa scintilla sarà sensibilmente la stessa, se al circuito si aggiunge un filo di 100 o 200 metri disteso in linea retta o piegato sopra se stesso, in guisa che i vari giri restino tra loro per alcuni millimetri lontani: ma se questo filo addizionale sia piegato in elica o aggomitolato sopra un rocchetto, si avrà allora una scintilla sommamente più grande, quando il circuito s'interrompe; il suo splendore è decuplo ed anche centuplo di quello che era da prima. Di questo singolare fenomeno non si può certamente assegnare altra ragione fuorchè la reazione che le varie spire dell'eliche esercitano tra loro, quando la corrente finisce.

Nè solo la scintilla riesce in tal modo così vigorosa, ma anche la scossa che si riceve nella interruzione della corrente diventa straordinariamente più intensa. Ecco alcune esperienze, le quali faran meglio vedere ciò che siavi d' importante in questo fenomeno.

Si può per mezzo delle correnti trasformare il ferro dolce in calamita poderosissima; queste calamite particolari, le quali prendon forza dalla presenza della corrente, possono in un momento farsi e disfarsi per quante volte si voglia, perciocchè tutto questo si ha col far circolare o interrompere la corrente; per tal ragione si chiamano *calamite temporanee* (*électro-aimans*) (1). Le figure 432 e 433 rappresentano la calamita temporanea ch' io feci nel 1831, la quale porta agevolmente più di mille chilogrammi, mercè la corrente di una vigorosa pila di 24 coppie; essa è composta da due pezzi di ferro dolce curvati a guisa di ferro di cavallo opposti fra loro, i quali son fatti con verghe cilindriche di 8 in 10 centimetri di diametro e 60 in 80 centimetri di lunghezza totale; le braccia di ciascun ferro di cavallo sono circondate da circa mille metri di filo di rame della grossezza di $\frac{2}{3}$ di millimetro. È la stessa corrente che successivamente attraversa i duemila metri di filo, ma l'eliche son formate in guisa che i poli di nome contrario si trovino di rincontro. Tosto che la corrente è messa in circolazione, l' elettro-magnete fissa *ab* innalza l' elettro-magnete *a'b'*, e si tengono strette con tanta forza che si può caricare il piatto *cdl* (*fig.* 432) di un grave peso che spesso oltrepassa i mille chilogrammi. Quando poi s' interrompe il circuito, cavando fuori del mercurio gli estremi *n* e *p* del filo di 2000 metri di lunghezza, vedesi balenare una grossa scintilla, nell'atto che la pila a circuito breve ne darebbe una appena visibile; e se con le mani alquanto umide si prendano questi estremi de' fili per tirarli fuori del mercurio, si riceverà una scossa fulminante siccome nelle lezioni del 1832 m' intervenne di sperimentare, per inavvedutezza o forse meglio non prevedendo un tale fenomeno. Cotesta esperienza io mi penso sia stata la prima in cui siasi osservato l' aumento di scossa e di scintilla. (*Bull. de la Société Philom. Année 1831, pag. 117*) (2).

(1) Si sogliono anche chiamare *elettro-magneti*.

(2) L'aumento di scintilla e di scossa di cui parla l' Autore devesi riferire a' fenomeni d' induzione. Se i poli di una pila si uniscono mercè un' elica di filo di rame coperto di seta è chiaro che all' attacco dovendo la corrente primaria destare ne' giri

Azioni chimiche.

252. Alcuni Fisici aveano da gran tempo pensato che la combustione dovesse essere accompagnata da svolgimento di elettricità. Lavoisier, de Laplace, de Saussure, e più tardi Davy tentarono di rifermare questa opinione, ma con le loro ricerche pervennero a risultamenti o negativi o incerti. La quistione era in certo modo abbandonata, quando fui condotto a ripigliarla in occasione delle mie *Ricerche sull' origine dell' elettricità atmosferica* (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 35, p. 401). Dopo alcuni saggi pervenni a scoprire le condizioni fino a quel tempo non avvertite, ed alle quali avendo soddisfatto, l' esperienze apparvero perfettamente regolari e concludenti.

Nella combustione del carbone, l'acido carbonico è elettrizzato positivamente ed il carbone negativamente. Per raccorre l'elettricità negativa, si prende un carbone deferente di figura cilindrica a basi parallele; una di queste basi si accende, e con l'altra si pone dritto sopra una lunga lamina di ottone che comunica col condensatore (*fig.* 425); allora, soffiando con una vescica piena d' aria e di ossigeno, si mantiene accesa solo la base superiore, e se il piatto di sotto del condensatore comunichi col suolo, pochi momenti basteranno per caricare lo strumento.

Per raccorre l' elettricità positiva, si mette il carbone verticalmente sopra una lamina metallica non isolata (*fig.* 426), si mantiene acceso nel modo indicato nell' antecedente sperienza, e poi si porta al di sotto della lamina di ottone ma ad una certa distanza; l' altro piatto del condensatore essendo posto in comunicazione col suolo, lo strumento sarà tosto caricato di elettricità vitrea, che l'acido carbonico comunica alla lamina a misura che giunge verso la superficie della medesima.

S' intende che se invece di separare l' acido carbonico nel punto di sua formazione si lasciasse in contatto col carbone, si avrebbero solo de' dubbi segni elettrici; e questo si ha bruciando il carbone dalla parte laterale, invece di bruciarlo dalla parte di sopra.

Nella combustione dell' idrogeno l' ossigeno si elettrizza anche positivamente, e negativamente l' idrogeno. Per raccogliere l'elettricità negativa, si adatta alla vescica che contiene l'idrogeno un tubo metallico che si fa comunicare col condensatore, ed all'estremo del quale il gas si accende; si può anche adattare il piatto del condensatore un lungo filo di platino, il cui estremo è piegato a spira stretta, e fare con diligenza immerger la spira interamente nella fiamma (*fig.* 427).

Per raccogliere l'elettricità positiva dell'ossigeno, basta presentare la spira anzidetta ad una certa distanza dalla fiamma (*fig.* 428), ovvero di darle un diametro maggiore di quello della fiamma, in modo che possa circondarla, allora anche da alcuni millimetri di distanza essa si carica di elettricità positiva. Quindi s' intende quanto debbano essere incerti e varî i risultamenti, allorchè la spira sia in parte dentro ed in parte fuori della fiamma.

Il Becquerel pensa che in questa esperienza l' elettricità sia in gran parte svolta dalla ineguale temperatura del filo di platino, e crede di più che la fiamma faccia semplicemente l' uffizio di conduttore (Becquerel t. 2, p. 86 e 87). Mi dispiace di non potere convenire in questa sentenza. I particolari contenuti nella mia Memoria me ne dissuadono.

Facendo germogliare le piante entro un vase isolato ed in mezzo ad un' atmosfera bastantemente asciutta, ho potuto anche raccogliere le elettricità che si sviluppano nell' atto della vegetazione.

Coteste esperienze ed altri simili ci guidano al seguente principio generale: *Ogni volta che l' ossigeno si combina con un altro corpo, vi ha sempre separazione di elettricità; l' ossigeno dando sempre elettricità positiva e il corpo combustibile elettricità negativa.*

Non ci deve recar maraviglia dopo questi fatti, che in tutte le decomposizioni chimiche che si eseguono mediante la pila, l' ossigeno riducasi al polo positivo od i corpi combustibili al polo negativo; imperciocchè è mestieri

dell' elica delle correnti contrarie resterà indebolita momentaneamente; ed un' altra minorazione di forza verrà pure in essa alla resistenza del lungo circuito siccome si dirà; ma nell' interrompere il circuito tutte le correnti indotte nei giri dell'elica correndo per lo stesso verso della corrente primaria accresceranno lo splendore della scintilla e l'energia della stessa. Or se dentro dell' elica si trovi un ferro dolce questo all' attacco diventando calamita indurrà correnti opposte alla corrente primaria, ma allo stacco scalamitandosi indurrà correnti dirette, e però ne' giri dell'elica correranno per lo stesso verso e la corrente primaria e le due generazioni di correnti indotte o di *estracorrenti*. Di qui apparisce perchè la scintilla e la scossa per tal modo ottenute vanno tra i fenomi d'induzione. Possonsi con alcuni congegni le interruzioni rendersi molto frequenti ed avere così effetti molto singolari e gagliardi. Di qui l' apparecchio di Masson modificato da Clarke e da altri.

certamente che per separarsi e riprendere il loro stato libero ricevan questi elementi quella stessa quantità di quello stesso fluido che essi hanno sviluppato nell' atto della loro combinazione.

I fenomeni elettrici che appariscono nelle decomposizioni chimiche sono perfettamente opposti a quelli che nascono nel tempo della composizione, o sia nella combinazione degli elementi. Questi fatti generali trovansi dichiarati nella seconda *Memoria sull' origine dell' elettricità atmosferica* (*Ann. de Phys. et de Chim. t. 36, p. 1*). Dopo di aver dimostrato che i cambiamenti di stato de' corpi non danno mai alcun segno elettrico, io fo vedere che l' elettricità tosto apparisce, ogni qual volta in una soluzione sonovi degli elementi chimici che si separano. Il mio strumento è il condensatore rappresentato nella figura 425: soltanto alla lamina di ottone si può sostituire un filo terminato da un anello: sulla lamina o nell' anello del filo si pone un crogiuolo di platino antecedentemente più o men riscaldato, cioè da 40 a 50 gradi fino al rosso o al rosso bianco, ed in questo crogiuolo si versano alcune gocce delle soluzioni sulle quali si vuol fare l' esperienza: sprigionandosi gli elementi volatili, vi sarà chimica separazione e quindi elettricità; la carica del condensatore è talvolta sì grande, che si osserva senza che vi sia comunicazione col suolo, e le foglie d'oro sono spinte verso le pareti della campana quasi nello stesso tempo in cui il liquido si versa nel crogiuolo.

Nelle soluzioni alcaline il vapore acqueo ha elettricita negativa e l' alcali positiva.

Nelle soluzioni acide, al contrario, l'acqua diviene positiva e la rimanente soluzione negativa.

Quando gli acidi operano sopra i metalli, accadono generalmente due fenomeni: il primo è l' ossidazione del metallo, ch' è una combustione, ed il secondo, che succede ordinariamente al primo, è la combinazione dell'ossido con l' acido, il quale somiglia anche ad una combustione, in quanto che l' acido si comporta della stessa guisa dell'ossigeno, nell' atto che l' ossido fa le veci del corpo combustibile; deve quindi svilupparsi elettricità più o men copiosa mentre questi fenomeni si compiono.

Questo appunto è stato rifermato nel 1823 da Oersted, Avogrado, Becquerel, de la Rive e Nobili; ma siccome i metalli trovansi necessariamente ne' circuiti; poteasi necessariamente supporre che la forza elettromotrice non fosse straniera alle correnti generate. Ecco l' esperienze per le quali il fenomeno rendesi aperto.

Quando i due estremi del moltiplicatore si tuffano in un acido che attacchi il rame, si vede tosto l' ago annunziar con la sua declinazione una vigorosa corrente; questa corrente cambia direzione da un momento all'altro, ed il mezzo più efficace per darle una direzione costante sembra esser quello di tenere in quiete uno de' fili nell'acido, movendo ed agitando fortemente l' altro: questo effetto deriva dalla ineguale azione chimica che l' acido esercita sopra i due fili.

Per sottoporre un altro metallo alla stessa prova basterà prenderne due pezzi, unirli agli estremi del moltiplicatore, ed usare tutte le cautele, perchè non vi sia differenza di temperatura tra i due punti di riunione del metallo col moltiplicatore; immergendo allora i due sopraddetti pezzi nell' acido, si osservano le correnti che risultano dall' insieme delle azioni chimiche, che si eseguono tra il metallo e l' acido.

Così due fili d' oro puro essendo semplicemente avvolti intorno ai due estremi del moltiplicatore, ed immersi poi nell'acqua regia, se ne ottiene una sensibilissima corrente, la quale dal Becquerel è stata renduta anche più energica, immergendo questi fili d' oro nell' acido nitrico a molta distanza tra essi, e versando alcune gocce d' acido idroclorico intorno ad uno di questi fili solamente: in questo caso infatti l' azione chimica è molto diversa, imperciocchè nel primo momento essa è molto forte sopra uno de' fili e nulla sull' altro.

Per osservare le correnti, che risultano da un acido sopra un alcali, Becquerel versa l'acido in un cucchiaio di platino, e prende con una pinzetta di platino il pezzo di soda o potassa che vuol porre ad esame; allora la pinzetta ed il cucchiaio essendo posti in comunicazione con gli estremi del moltiplicatore s'immerge l' alcali nell' acido per compiere il circuito.

In tutte le azioni di questa natura, le quali possonsi infinitamente variare, si osserva sempre che l' elemento acido svolge l'elettricità positiva e l'elemento basico elettricità negativa.

Lo stesso interviene ancora nelle azioni più intricate in cui un metallo prende il luogo di un altro in una soluzione salina; ne citeremo un esempio.

In una soluzione di solfato di rame si tuffino ad una certa distanza l' una dall' altra due lamine una di zinco e l' altra di rame congiunte a' capi del moltiplicatore, tosto si osserverà una vigorosa corrente, e nello stesso tempo si

vedrà lo zinco passare allo stato di solfato di zinco per prendere il luogo del rame, e questo ravvisarsi sulla lamina di rame.

Si dà anche alla corrente maggiore intensione ordinando nel seguente modo l' esperienza, siccome ha fatto Becquerel, il quale ha prima d' ogni altro esaminato tutti questi fenomeni chimici con successo pari alla perseveranza (*Ann. de Chim. et de Phys.* t. 41 p. 1). In un vase di vetro o di porcellana si fa uno scompartimento con una membrana di vescica; da una parte una soluzione di solfato di zinco ed una lamina di zinco, e dall' altra parte una soluzione di solfato di rame con una lamina di rame: la reazione è quasi nulla, fintanto che fra questi liquidi non siavi altra comunicazione, oltre di quella dello scompartimento; ma tosto che le lamine di zinco e di rame sono congiunte per mezzo di qualunque metallo, come per esempio per mezzo del filo di un moltiplicatore, lo zinco sarà fortemente attaccato nell'atto che il rame del solfato di rame sarà ravvivato sulla lamina dello stesso metallo; nello stesso tempo si avrà una vigorosissima corrente, la quale si manterrà costante, se abbiasi cura di aggiungervi del solfato di rame solido per tenere la soluzione sempre egualmente satura.

Nel capo VII torneremo sopra questo argomento; abbiamo solamente voluto in questo luogo fermare il fatto dello svolgimento dell'elettricità mercè le azioni chimiche, e delle correnti elettriche che ne derivano.

Azioni fisiologiche e pesci elettrici.

Per compiere la disamina delle varie cagioni che possono sviluppare l' elettricità, ci resta ancora a parlare de' *pesci elettrici* e de' loro singolari fenomeni.

Da lungo tempo sapevasi che la torpedine ha la proprietà di scuotere e d' intormentire la mano di chi la tocca; talvolta la scossa è così violenta che genera in tutta la lunghezza del braccio una dolorosa paralisia, la quale dura parecchi minuti, e può essere paragonata a quella sensazione che si soffre quando si riceve un colpo sul gomito. Per ispiegar questi effetti dicevasi un tempo, la torpedine *scagliare delle molecole stupefacienti*, ovvero, operare come una *molla* che si rilascia, o come un *corpo sonoro* che faccia rapide vibrazioni (*Réaumur, Académie des Sciences*, 1714). Ma allorchè Muschenbroeck provò la prima volta gli effetti della boccia di Leida, ebbe tosto l' ingegnosa idea di paragonare questa scossa a quella della torpedine, e di attribuire alla stessa cagione fenomeni che sembravano avere diversa origine: da allora in poi la torpedine e gli altri pesci simili che generalmente chiamavansi *tremole*, furono giustamente chiamati pesci elettrici; ora se ne numerano sette di vario genere: *Torpedo narke risso*, *T. unimaculata*, *T. marmorata*, *T. galvanii*, *Silurus electricus*, *Tetraodon electricus*, *Gynnotus electricus*.

Qual' è l'origine della maravigliosa quantità di elettricità che posson dare questi pesci? È questa una questione molto importante, la quale disgraziatamente par che fosse stata negletta da' più abili osservatori: intanto noi siam di credere che questa elettricità sia l' effetto di una *particolare azione fisiologica*; imperciocchè, dall'unione dei fatti conosciuti, non troviam ragione di pensare ch' essa sia generata di azioni meccaniche o dal calorico, ovvero da azioni chimiche analoghe a quelle delle quali non ha guari discorremmo: ciò non pertanto potendo fondare questa opinione sopra solide basi, privi di esperienze dirette, non entreremo in alcuna disamina sul proposito, contentandoci di esporre brevemente i principali fenomeni osservati sulla torpedine e sul ginnoto.

253. *Proprietà della torpedine.* — Le prime ricerche alquanto precise sugli effetti della torpedine furon fatte da Walsh nel 1772 alla Rochelle ed all' isola del Re (*Journal de Physique t.* IV. *p.* 205), dalle quali egli trae le seguenti conclusioni:

Quando la torpedine trovasi all' aria, se ne ha la scossa toccandone direttamente la pelle o con un dito o con tutta la mano.

Si ha del pari la scossa toccandola con un buon conduttore, come per esempio con una verga metallica di alcuni piedi di lunghezza.

La scossa è impedita da tutt' i coibenti; onde si può impunemente toccare la torpedine con vetro o resina.

Si può anche impunemente toccarla con una striscia di stagno incollata sul vetro, purchè siavi una piccolissima interruzione fatta colla punta di un temperino.

Se molte persone non isolate si diano la mano, e solo la prima tocchi la torpedine, la scossa si estenderà fino alla seconda e talvolta anche alla terza, ma con minore intensione.

Venti persone non isolate le quali si diano la mano, possono ricevere la scossa se la prima tocchi la pancia della torpedine e l' ultima il dorso, o al contrario.

Son questi i principali fenomeni che si hanno nell' aria; l' ultima esperienza forse riuscirebbe anche toccando due punti non opposti, siccome pare richiesto da Walsh, sicuramente per l' analogia che egli trovar volea tra la boccia di Leida e la torpedine. Nell' acqua le scos-

se sono sempre meno vigorose di quello che sono nell' aria, ma in tutto il resto accadono con le stesse circostanze. Essendo l' acqua un buon conduttore, segue poter una torpedine viva e vigorosa operare anche da una certa distanza, senza che sia necessario d' immediatamente toccarla. E Walsh ha infatti osservato che la torpedine *fulmina* da una certa distanza alcuni piccoli pesci, o per lo meno li suole intormentire o stupefare.

In ogni caso però la scossa è sempre per la torpedine un fenomeno volontario; essa infatti sovente non la dà, quantunque sia più volte toccata; ma se si stizzisce pizzicandole le pinne, si può quasi esser sicuro di riceverne delle replicate scosse; Walsh ha contato fino a cinquanta scariche in un minuto.

Becquerel e Brechet han fatto molte importanti osservazioni sulle torpedini di Chioggia poco lungi da Venezia (*Becquerel, t.4,p.364*): essi hanno per esempio dimostrato per mezzo di un buon galvanometro, che la corrente va sempre dal dorso alla pancia, passando per lo galvanometro; hanno del pari di nuovo verificato, potere la torpedine a suo talento far passare la scarica per qualunque punto della superficie superiore ed inferiore.

Matteucci, il quale ha fatto posteriormente alcune piacevolissime esperienze sulle torpedini dell' Adriatico, ha trovato il modo di render perfettamente visibile la scintilla: egli applica perciò due armature metalliche l' una sul dorso e l' altra sulla pancia della torpedine; poi dispone due foglie d' oro molto tra loro vicine, ciascuna delle quali si congiunge con una delle anzidette armature; stando così le cose e irritando la torpedine si vede tra le due foglie d' oro balenar la scintilla.

Matteucci, ha del pari confermato l' importante osservazione di Becquerel e Brechet intorno alla direzione della corrente; egli ha fatto conoscere che il dorso è positivo e la pancia negativa.

Ci duole di non poterci distendere intorno ai particolari di queste ricerche, i quali sicuramente sulle proprietà elettriche e fisiologiche della torpedine molta luce spanderebbero (1).

Proprietà del ginnoto. — Il ginnoto elettrico, detto anche *anguilla di Surinam*, è dotato di un potere elettrico maggiore di quello della torpedine. Walsh fece venire di Surinam alcuni ginnoti, sopra i quali confermò i risultamenti avuti sulla torpedine pochi anni innanzi; ma fece inoltre la singolare osservazione, che la scossa del ginnoto, può passare da un conduttore all'altro attraverso una piccola lamina d'aria, balenando a forma di scintilla elettrica. (*Journal de Phys., t.* VIII, *p.* 305).

Humboldt ha fatto in America insieme col Boupland molte sperienze sul ginnoto. Ecco quello che egli riferisce, nella sua opera, delle abitudini di questi pesci singolari e della maniera di pescarli.

« Noi partimmo il 9 marzo di buon mattino per lo piccolo villaggio di *Rastro de Abaxo* di là gl'Indiani ci condussero sopra un ruscello, il quale ne'tempi di siccità forma un bacino d'acqua melmosa, circondato da begli alberi di cluzia, di amiri, e di mimose a fiori odoriferi. Là pesca de' ginnoti con le reti è difficilissima a cagione della somma agilità con la quale questi pesci si cacciano nella melma siccome i serpenti. Non si volle adoperare il *barbasco*, vale a dire le radici della *pix cidia erithryna*, della *jacquinia armillaris*, e di qualche specie di *phyllantus*, le quali menate in un pantano stupiscono ed intormentiscono gli animali: questo mezzo avrebbe indeboliti i ginnoti. Gl' Indiani ci dicevano che avrebber *fatto la pesca coi cavalli*. Noi duramno fatica a farci un' idea di questa straordinaria pesca; ora tosto vedemmo le nostre guide venir dal bosco, dove avevan fatto una caccia di cavalli e muli indomiti; essi ne menarono una trentina che costrinsero ad entrare nella laguna.

« Il gran rumore cagionato dallo scalpitar de' cavalli fece uscire i pesci dalla belletta, e gli eccitò al combattimento: queste anguille giallastre e livide, simili ai grandi serpenti acquatici, nuotano alla superficie dell' acqua, e si spingono sotto la pancia de' cavalli e dei muli; una lotta tra animali di organismo tanto diverso è uno spettacolo il più pittoresco. Gli Indiani armati di ramponi e di canne lunghe

(1) La scintilla della torpedine fu cagione di querele da parte del pr. Linari contro il Cav. Matteucci; io prima di conoscere i fatti, credetti che Linari avesse per se interamente la priorità della scoperta, ma poi avendo il pr. di Siena pubblicate le lettere del Cav. Matteucci, e depositatane copia in vari archivi accademici, si è potuto veder chiara la soluzione della controversia. Erano i due professori di concerto per tentare il fenomeno della scintilla sulla torpedine, ed il Cav. Matteucci manifestò in una lettera al pr. Linari il pensiere di fare uso dell'estracorrente di Faraday. Il pr. Linari non avendo voluto aspettare il Cav. Matteucci se ne andò solo a Porto Talamone, ed ivi usando dell'apparecchio suggerito dal Matteucci, ottenne la scintilla. Ecco i fatti che risultano dalle lettere pubblicate dallo stesso pr. Linari. Primo a vedere la scintilla fu certo Linari, ma primo ad escogitarne il mezzo fu Matteucci, e fu solo poco cauto nel suggerirlo ad un socio che dovea abbandonarlo.

e sottili circondano strettamente la laguna, alcuni di essi montano sugli alberi, i cui rami orizzontalmente si estendono sulla superficie dell'acqua; col loro gridi selvaggi e con la lunghezza delle loro verghe impediscono ai cavalli di mettersi in salvo uscendo sulla riva della laguna. Le anguille stordite dal rumore con replicate scariche di batterie elettriche si difendono; per molto tempo par che la vittoria sia dalla parte loro. Parecchi cavalli muojono sotto la violenza degl'invisibili colpi che da per ogni dove ricevono negli organi più necessari alla vita: intormentiti dalla forza e dalla frequenza delle scosse cadono nel fondo dell'acqua e si perdono di vista; altri sbuffando con la criniera rizzata, con gli occhi sdegnosi ed esprimenti l'angoscia, s'innalberano e cercano di evitare l'infortunio che gli opprime. Gl'Indiani li respingono in mezzo dell'acqua. Frattanto a pochi solo è dato il deludere l'operosa vigilanza de' pescatori; e quindi li vedi toccar la riva, inciampare ad ogni passo, gettarsi sull'arena spossati dalla fatica con le membra intormentite dalle scosse elettriche de' ginnoti.

« In meno di cinque minuti due cavalli eransi annegati. L'anguilla essendo lunga cinque piedi, premendo contro la pancia del cavallo, scarica tutto il suo organo elettrico; essa colpisce nello stesso tempo il cuore i visceri ed il plesso de' nervi addominali. E però è cosa naturale che il cavallo debba dall'azione di questo pesce rimanere più offeso dell'uomo che lo tocca solo con una delle sue estremità. Forse i cavalli non ne rimangon morti, ma solo storditi. Essi sommergonsi, non potendosi più rialzare per la continua lotta degli altri cavalli con le anguille.

« Noi non dubitavamo che la pesca non dovesse finire con la morte successiva di tutti gli animali adoperati. Ma a poco a poco il calore di questo ineguale combattimento si va rallentando, i ginnoti già stanchi si sperdono. essi han bisogno di lungo riposo e di nutrimento per riparare le perdite di forza galvanica che han sofferto: i muli ed i cavalli sembravano meno atterriti, non più rizzavano la criniera, ne' loro occhi si vedeva meno spavento, i ginnoti timorosi al lido della laguna avvicinavansi, e con arpioni legati a lunghe funi si prendevano. Quando le funi sono bene asciutte, gl'Indiani nel sollevare i pesci in aria non ricevono scosse. Fra pochi minuti noi avemmo cinque grandi anguille, la maggior parte delle quali erano appena leggermente offese; altre ne furono prese verso la sera con lo stesso mezzo.

« La temperatura delle acque nelle quali abitualmente vivono i ginnoti è di 26° in 27°. Si crede che la loro forza elettrica si renda minore nelle acque più fredde; ed è generalmente da notare, che, siccome ha già osservato un celebre fisico, gli animali forniti di organi elettromotori, i cui effetti si rendono per l'uomo sensibili, non si trovano mai nell'aria, ma in un fluido conduttore dell'elettricità. Il ginnoto è il maggiore de' pesci elettrici; io ne ho misurati alcuni di cinque piedi e tre pollici di lunghezza. Gl'Indiani affermavano averne veduti anche de' più lunghi. Noi abbiamo trovato che uno di questi pesci, lungo tre piedi e dieci pollici, pesava dodici libbre. Il diametro trasversale del corpo (senza tener conto della pinna anale che si estende a guisa di carena) era di tre pollici e cinque linee. I ginnoti del *Cano* di Bera sono di un bel verde di oliva; la parte di sopra del capo è di color giallo mescolato col rosso; due ordini di piccole macchie gialle trovansi simmetricamente disposte sul dorso, dal capo fino all'estremo della coda; ogni macchia racchiude un'apertura escretoria: onde la pelle dell'animale è sempre coperta da una materia mucosa, la quale, siccome osservò il Volta, conduce l'elettricità 20 o 30 volte meglio dell'acqua pura. Egli è generalmente assai degno di essere notato che nessuno de' pesci elettrici finora scoverti nelle varie parti del mondo sia coperto di squame ».

Sperimentando sopra questi pesci, le cui batterie son così vigorose, Humboldt non ha potuto scoprire alcun'azione diretta su gli elettrometri i più sensibili, nè alcun fenomeno di luce elettrica (1).

Dell'organo elettrico. — Ne' vari pesci elettrici, l'organo in cui l'elettricità si sviluppa ha sensibilmente la stessa tessitura e le stesse apparenze, sebben vario sia di forma, di grandezza e di disposizione. Noi proccureremo solo di dare un'idea dell'organo della torpedine, come quello ch'è stato con maggiore diligenza osservato. Quest'organo si divide in due parti

(1) Il nostro Giuseppe Saverio Poli trovandosi a Londra fu ammesso da Walsh ad osservare i fenomeni del ginnoto, ed egli affermando di narrare ciò di che fu testimonio oculare, così si esprime: « Se la scossa facevasi trapassare lungo un conduttore metallico in cui era una picciolissima » interruzione, vedeasi lanciare in quell'atto una » viva scintilla di fuoco dall'uno all'altro capo » del divisato interrompimento. » *Elementi di fisica*, t. IV.).

simmetricamente disposte da ciascun lato del capo ed appoggiate verso le branche ; esse occupano tutta la grossezza che separa le due pieghe della pelle Quando quest'organo si taglia , si vede ch' è composto di un tessuto cellulare sommamente molle , a grandi maglie , che presentano quasi la forma di un cilindro o piuttosto di un prisma di 5 o 6 facce. Può con molta giustezza assomigliarsi alle cellette di un fiale di mele ; gli scompartimenti però non sono sottili membrane, ma piuttosto delle fibre separate e tese secondo varie direzioni.

Si numerano ordinariamente in ogni organo quattro o cinquecento di questi piccoli prismi, e pare che Hunter ne abbia numerati una volta fino a 1182. Questi sono presso a poco perpendicolari alla direzione della pelle, alla quale sono strettamente uniti coi loro due estremi Se osservasi alla spicciolata la struttura di ciascuno di questi prismi, vi si discerne una quantità di lamine sottili perpendicolari all'asse, separate l'una dall'altra, e finalmente disposte a guisa dei varî elementi di un pila. Queste piccole foglie distinte , or piane ora formanti piccole pieghe rotonde , son tramezzate da strati mucosi molto uniti ; ma spremendo un organo non se ne può fare uscire alcuna sensibile quantità di fluido (1).

Quattro fasci nervosi di molto volume vanno a diramarsi nell' organo, e secondo il Matteucci la sede del potere elettrico pare che stia nel rigonfiamento dal quale partono.

Questa organizzazione ha certamente delle notevoli somiglianze con la pila del Volta; ma sarebbe mestieri di più precise osservazioni anatomiche , di più numerose esperienze fisiche e fisiologiche, per portar fino all'evidenza queste analogie che si offrono in una maniera seducente ; sarebbe d' uopo specialmente di adoperarsi per conoscere se l'accumulamento dell'elettricità negli organi elettrici sia l'effetto di una volontaria azione fisiologica , e di discernere se si diano le circostanze con le quali l' apparecchio si carica e quelle con le quali si scarica, per mezzi che sembrano essenzialmente diversi. Tutto questo certamente sarà quanto prima da ulteriori esperienze renduto aperto.

CAPO VI.

LEGGI GENERALI DELLA INTENSIONE DELLE CORRENTI ELETTRICHE.

Esporremo in questo capo i punti più essenziali delle ricerche che abbiam fatto sulla misura delle correnti elettriche , col fine specialmente di dare un' idea de' varî metodi di sperimentare da noi adoperati, e di fare intendere le leggi generali che abbiam conosciute. Tratteremo separatamente delle correnti termo-elettriche, delle correnti idro-elettriche, e della determinazione della quantità di elettricismo necessario per decomporre un grammo d'acqua

Correnti termo-elettriche.

254. *L' intensione della corrente è la stessa in tutti i punti del circuito che percorre.*— Quando una corrente termo-elettrica si fa passare per un circuito composto di varî fili metallici di diverso diametro , l' intensione della corrente è sempre la stessa in tutti i punti del circuito ; per rendere aperta questa verità, si possono disporre i vari fili di un circuito in una linea orizzontale perpendicolare al meridiano magnetico , e fare oscillare uno stesso ago calamitato sopra i varii punti che si vogliono soggettare all' esperienza. Se si abbia cura , in ogni esperienza, di porre l' ago perfettamente al di sopra del filo e alla stessa distanza dal suo asse , si vedrà che esso farà sempre lo stesso numero di vibrazioni nello stesso tempo ; e però se ne conclude che la corrente abbia per tutto la stessa intensione.

Si può anche dirigere il circuito nel meridiano magnetico, e poi piegarlo sopra se stesso in modo che in ogni punto vi siano due correnti contrarie; allora avvicinando un ago comune di declinazione ad un qualunque punto di questa doppia linea , sarà facile l' avvedersi che l' ago non soffre alcuna declinazione , e per conseguenza che le correnti contrarie hanno per tutto la stessa intensione.

La sorgente elettrica che a noi sembra più comoda, per queste esperienze e per le seguenti, è un cilindro di bismuto rappresentato nella figura 446 , ai due estremi del quale si salda un filo di rame di un metro di lunghezza , mantenendo una delle saldature per esempio a 0 e l' altra a 100° , completando poi il circuito con quei fili che si vorrà.

255. *L' intensione della corrente è in ragione inversa della lunghezza del circuito e in ragion diretta della sezione del medesimo.*— La sorgente elettrica rimanendo la stessa, ed il circuito essendo composto anche della stessa sostanza , l' intensione della corrente sarà in

(1) L'organo elettrico della torpedine è stato molto bene studiato dal nostro egregio pr. delle Chiaje. e credo che il pr. Zantedeschi nel dichiarar sue alcune osservazioni non abbia conosciuta la memoria del dotto Zootomo napolitano.

ragione inversa della lunghezza del circuito ed in ragion diretta della sezione del medesimo. Per dimostrare questa proposizione si prendon due cilindri simili, colati nella stessa forma, e si dispongono nel modo espresso nella figura 447; indi si sceglie un rocchello di filo di rame bene omogeneo e coperto di seta, si salda a ciascun capo de' cilindri un metro di questo filo; allora per assicurarsi della uguagliaza delle due sorgenti elettriche, si fan passare le loro correnti per direzioni contrarie in un galvanometro differenziale (§.227) i cui fili siano perfettamente uguali. Se l'ago resta immobile, le sorgenti saranno eguali, perciocchè i due circuiti sono identici. Ciò posto si forma un galvanometro con filo dello stesso rocchello prendendone due capi diversi, l'uno per esempio di 8 metri e l'altro di 98; queste lunghezze aggiunte alle due sorgenti termo-elettriche formeranno due circuiti, l'uno della lunghezza totale di 10 metri dello stesso filo, più la lunghezza del bismuto (che può essere trascurata siccome appresso vedremo), l'altro avente una lunghezza totale di 100 metri.

Col circuito dei 10 metri si fan due giri sopra un telaio di moltiplicatore, e 20 col circuito di 100 metri, allora facendo passare le correnti per direzioni contrarie, si vedrà l'ago restarsi fermo. Il circuito dunque 10 volte più lungo è di fatto 10 volte più debole, perciocchè esso deve operare per un numero di giri 10 volte più grande per uguagliare l'effetto del circuito più corto. Si possono nella stessa guisa paragonare de' circuiti le cui lunghezze siano fra loro in qualunque altra ragione; ma è mestieri che i fili siano molto omogenei, il che non sempre accade, imperciocchè sullo stesso rocchello si trovan talvolta delle parti vicine che hanno una conducibilità molto diversa.

Con questo stesso metodo si dimostra che l'intensione è proporzionale alla sezione, e componendo uno de circuiti con tre o quattro fili simili, o prendendo un filo più grosso, una parte del quale *sia tirata* in filo più sottile, o anche passando un filo al laminatoio, per dimostrare che la superficie non esercita alcun potere. Egli è facile il conoscere ancora che l'ampiezza della saldatura non altera punto i risultamenti, purchè tutti i suoi punti ricevan perfettamente la stessa temperatura.

236. *Conducibilità de' vari metalli.* — Per determinare la conducibilità de' metalli diversi, si adopera un sensibilissimo galvanometro differenziale, con le due eguali sorgenti termo-elettriche dell'antecedente esperienza (*fig.* 477). Siano *ab* e *cd* (*fig.* 448) i capi de' cilindri di bismuto, e il galvanometro differenziale, *f* una riga divisa della lunghezza di 2 o 3 metri, *g* un filo di platino teso sulla riga, ed *h* il filo di prova la cui conducibilità vuolsi paragonare a quella del filo di platino. Questi diversi fili son disposti nel modo espresso dalla figura, e soddisfanno alle seguenti condizioni:

1°. Le correnti delle due sorgenti passano nel galvanometro per direzioni contrarie;

2°. I circuiti sarebbero composti della stessa maniera e dovrebbero essere perfettamente eguali se le lunghezze del filo di platino e del filo di prova fossero ridotte a zero;

3°. Si può cangiare a piacimento la lunghezza del filo di platino, e con questo mezzo si può indebolire la sua corrente, per quanto il filo di prova *h* indebolisce la sua.

Per soddisfare a quest'ultima condizione, il filo di platino è disposto siccome vedesi nella figura 419: il peso *p* gli dà una tensione costante, ed il corsoio *i*, ch' è un pezzo di sughero, lo fa passare per un' apertura longitudinale; ma il filo del galvanometro si ferma con un poco di cera sull' orlo del corsoio e s'immerge col filo di platino nel mercurio che empie la fossetta di mezzo. Smovendo il corsoio a dritta o a sinistra, si scema o si accresce la lunghezza del filo di platino, e si arriva agevolmente a ridurre a zero l' ago del galvanometro. Trovato una volta questo punto, basterà trasportare il corsoio per alcuni millimetri, per fare che l'ago abbia una sensibile declinazione; onde non si può mai errare sulla lunghezza del filo di platino, capace di equilibrarsi col filo di prova.

Conoscendo allora la lunghezza e la sezione del filo di prova, e la lunghezza e la sezione del filo di platino, sarà agevole il paragonare le loro conducibilità; imperciocchè se questi fili abbiano lo stesso diametro, la loro conducibilità sarà evidentemente proporzionale alla loro lunghezza; e se abbiano la stessa lunghezza, essa sarà in ragione inversa delle sezioni: generalmente se si esprime con x la conducibilità del filo di prova, con s' la sua sezione, e con l' la sua lunghezza, e poi si esprima con 1 la conducibilità del filo di platino e con s ed l la sezione e la lunghezza ch' è necessario dargli per fare equilibrio al filo di prova, si avrà:

$$x = \frac{l'}{l} \cdot \frac{s}{s'}.$$

Le sezioni si determinano con molta precisione misurando con lo sferometro il diametro de' fili.

Siccome il platino non è mai puro, mi è sembrato necessario riferire tutte le conduci-

bilità a quella del mercurio distillato. Laonde invece di adoperare il filo di platino, si adopera un tubo di vetro perfettamente cilindrico, il cui diametro si determina per mezzo del peso; gli estremi di questo tubo *ab* (*fig.*456) s'introducono in due turacci o piuttosto in due vasi di vetro molto lunghi *c* e *d*, e l'esperienza si fa come nel caso antecedente. La seguente tavola contiene i risultamenti che sonosi avuti con questo metodo:

Tavola della conducibilità de' metalli.

Nomi delle sostanze.	Diametro del filo.	Lunghezze soggettate all'esperienza.			Conducibilità.
	mm.	mill.	mm.	mill.	
Palladio	0,176	1900	1200	500	5791
Argento 963 di fin.	0,174	2000	1500	200	5152
Argento 900	0,194	id.	id.	id.	4753
Argento 857	0,178	1200	800	400	4221
Argento 747	0,179	1200	600	»	3882
Oro puro	0,176	600	300	»	3975
Oro 951	0,176	600	300	»	1338
Oro 751	0,176	400	200	»	714
Rame puro	0,182	2000	1000	500	3838
Id. ricotto	id.	id.	id.	id.	3842
Platino	0,186	800	600	300	855
Ottone	0,182		»	»	200 / 900
Acciaio fuso	»		»	»	800 / 500
Ferro	»		»	»	700 / 600
Mercurio	»		»	»	100

Il palladio, il platino, l'oro, l'argento ed il rame sono stati purificati alla zecca, e lo debbo alla gentile amicizia di d'Arcet e di Brèant; gli altri metalli sono stati presi in commercio, o direttamente preparati ed allegati in diverse proporzioni.

Si vede essere il palladio il miglior conduttore tra i metalli, venire appresso l'argento, l'oro ed il rame; tra i corpi sopra i quali ho fatto l'esperienze, il peggior conduttore ho trovato essere il mercurio; la sua conducibilità è quasi sessanta volte minore di quella del palladio.

Le sostanze eterogenee alterano particolarmente la conducibilità; sarebbe questo un ottimo mezzo per conoscere la purezza de' metalli.

L'ottone, l'acciaio ed il ferro sono stati sottomessi a molte sperienze; io ho solo riferito i limiti tra i quali tutti i risultamenti trovansi compresi.

La temperatura fa poco variare la conducibilità di certi corpi, il mercurio per esempio fra 0 e 100° varia solo per alcuni centesimi; ma il ferro e l'acciaio tra gli stessi termini soffrono una variazione grandissima; la conducibilità è talvolta ridotta alla terza parte; il semplice caldo della mano produce sensibilissimi effetti, e quel che reca maggiore maraviglia si è che basta il fare arroventare una sola porzione, per esempio un millimetro, sulla intera lunghezza del filo di ferro o di acciaio, per renderne la conducibilità tre o quattro volte minore.

La conducibilità del bismuto non può essere con grande precisione determinata, perciocchè riesce impossibile di farne de' fili sottili di molta lunghezza, specialmente quando debbono essere omogenei e dello stesso diametro; ma i saggi da me fatti sul proposito mi han fatto intanto conoscere che i cilindri simili a quello della figura 446 equivalgono ad alcuni centimetri di un filo di rame di $\frac{1}{2}$ millimetro di diametro: ed appunto per la poca conducibilità del bismuto io ho adoperato cilindri di grande sezione, perciocchè solo in questo modo potea trascurare la lunghezza che esso rappresenta nel circuito. Avendo in fatti i cilindri il diametro di circa

25 millimetri, e circa 300 millimetri di lunghezza, si vede che la loro sezione è 2500 volte maggiore di quella del filo di rame di $\frac{1}{2}$ millimetro: per conseguenza se il bismuto avesse la stessa conducibilità del rame, non indebolirebbe la corrente più di un filo di rame di $\frac{1}{2}$ millimetro di grossezza e di $\frac{1}{25}$ di millimetro di lunghezza; e se il bismuto avesse una conducibilità 100 volte minore di quella del rame, questo cilindro equivarrebbe a 12 millimetri di un filo di rame della grossezza di $\frac{1}{2}$ millimetro.

Questi principii ci servono per esprimere con una semplicissima formola l'intensione della corrente prodotta da una sorgente termo-elettrica qualunque, purchè si conoscano le sezioni, le lunghezze e le conducibilità delle diverse parti del circuito che questa corrente attraversa.

257. *Intensione della corrente in un circuito semplice ed omogeneo.* — L'intensione di una corrente termo-elettrica essendo in ragione inversa della lunghezza del circuito ed in ragion diretta della sua sezione e della sua conducibilità, egli è chiaro che se ad una sorgente termo-elettrica si presentino l'un dopo l'altro due diversi circuiti, l'uno avente una lunghezza l, una sezione s, ed una conducibilità c; l'altro una lunghezza l', una sezione s', ed una conducibilità c', si avrà:

$$x = t.\frac{s'}{s}.\frac{c'}{c}.\frac{l}{l'},$$

indicando con t l'intensione della corrente che si svolge nel primo circuito, e con x quella della corrente che si svolge nel secondo, perciocchè la seconda corrente è eguale alla prima moltiplicata per le ragioni dirette delle sezioni e delle conducibilita e per la ragione inversa delle lunghezze. E per fermo, essa diverrà doppia o tripla della prima, se, le altre cose rimanendo le stesse, sia soltanto doppia o tripla la ragione delle sezioni, o solo doppia o tripla la ragione delle conducibilità, o se la ragione delle lunghezze sia $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{3}$, ec.

Onde, affinchè la seconda corrente sia uguale alla prima, basterà che sia $s'c'l = scl'$, condizione cui si può in mille modi soddisfare.

258. *Intensione di una corrente in un circuito semplice eterogeneo.* — Supponiamo, per esempio, che ad una stessa sorgente termo-elettrica si presentino l'un dopo l'altro due circuiti diversi: l'uno omogeneo avente una lunghezza l, una sezione s, e una conducibilità c; l'altro eterogeneo composto di diverse parti sussecutive, cioè formato, per esempio, con un filo di rame cui sia appresso unito un altro di oro, indi un altro di ferro, di argento, di palladio, ec., ec. Sia per la prima parte del circuito l'' la lunghezza, s'' la sezione, c'' la conducibitità; per la seconda parte la lunghezza sia l''', la sezione s''', la conducibilità c'''. La corrente di uniforme intensione, che attraversa tutte le parti e tutti gli elementi di questo circuito, ha la stessa intensione che avrebbe se attraversasse un altro circuito omogeneo della lunghezza l', della sezione s', e della conducibilità c'; ed è facile di trovare la lunghezza incognita l' che aver dovrebbe questa nuovo circuito, per essere equivalente al circuito eterogeneo di cui si tratta, supponendo data la sezione s' e la conducibilità c'.

In fatti, per sostituire alla prima parte un filo di sezione s' e di conducibilità c', basterebbe dare a questo filo una lunghezza

$$l''\frac{s'c'}{s''c''};$$

perciocchè la sua lunghezza dovrà essere doppia di l'', se abbia doppia sezione o doppia conducibilità, ec.

Questa lunghezza di un filo di sezione s' e di conducibilità c' equivalente al filo di lunghezza l'' di sezione s'' e di conducibilità c'', cioè che gli può essere sostituita, senza alterare l'intensione della corrente, è ciò che noi diciamo *la lunghezza ridotta* di l''; in simil guisa la lunghezza ridotta della seconda parte sarà:

$$l'''\frac{s'c'}{s'''c'''};$$

e lo stesso sarà per tutte le altre.

Or se alle diverse parti sussecutive si fossero realmente sostituite le lunghezze

$$l''\frac{s'c'}{s''c''},\ l'''\frac{s'c'}{s'''c'''},\ \text{ec.}$$

di un filo di sezione s' e di conducibilita c', la lunghezza l' del nuovo circuito sarebbe uguale alla somma di queste lunghezze.

Si avrà dunque

$$l' = l''\frac{s'c'}{s''c''} + l'''\frac{s'c'}{s'''c'''} + \text{ec.}$$

ovvero $l'=s'c'\left(\frac{l''}{s''c''}+\frac{l'''}{s'''c'''}+\text{ec.}\right)$.

Per conseguenza chiamando t l'intensione della corrente del circuito di lunghezza l, di sezione s e di conducibilità c, ed x l'intensione della corrente data per la stessa sorgente nel circuito eterogeneo di cui si tratta, si avrà

$$x=t\,\frac{s'c'l}{scl'}\ ;$$

e se si prenda $s'=s=1$, $c'=c=1$, si avrà

$$x=t\,\frac{l}{l'}\ ;$$

finalmente se si prenda l per unità di lunghezza, e t per unità d'intensione, si avrà

$$x=\frac{1}{\frac{l''}{s''c''}+\frac{l'''}{s'''c'''}+\text{ec.}}$$

Tale è la formola generale che dà l'intensione della corrente in un circuito eterogeneo, per mezzo delle lunghezze delle sezioni e delle conducibilità de'vari fili che compongono questo circuito.

259. *Correnti complesse o derivate.* — Una corrente sia data da un elemento di bismuto e rame (*fig.* 450), le cui saldature sieno r ed r'; essa attraversi da prima il filo di rame *racbr'*, il quale forma col bismuto un circuito semplice; indi con un altro filo di rame *abd* si pongan delle comunicazioni ai punti *a* e *b*, e si voglia determinare tutti i fenomeni d'intensione che debbon nascere da questo aumento che si fa al circuito. Sembra naturale il supporre che la corrente si debba diramare o dividere nel punto *a*, che una parte debba continuare a passare direttamente da *a* in *b* per lo primo filo *c*, nell'atto che un'altra parte dovrà prendere la nuova strada, che le è offerta dal filo addizionale *adb*.

Noi denomineremo i punti *a* e *b* *punti di derivazione*, e la loro distanza, misurata sul filo, la diremo *distanza* o *intervallo di derivazione*; così anche diremo *filo di derivazione* il filo addizionale *adb*, perciocchè per esso deriva una porzione della corrente, abbandonando il primo suo corso.

Diremo *corrente primitiva* quella anteriore alla derivazione, *corrente parziale* la porzione della corrente, che attualmente passa per l'antico filo *abc* tra i punti *a* e *b*, e *corrente derivata* la porzione della corrente che passa pel filo di derivazione *adb*.

Siccome è probabile che l'effetto della derivazione si estenderà sulla corrente primitiva per alterarne l'intensione, perciò diremo *corrente principale* la corrente che passa per tutto il resto del circuito, quando la derivazione è avvenuta; onde la corrente principale tiene il luogo della corrente primitiva.

Indichiamo con t l'intensione della corrente primitiva,

con x quella della corrente principale,
con y quella della corrente parziale,
con z quella della corrente derivata.

Ciò posto, per trovare in una maniera generale i valori di x, di y, di z, cioè le intensioni della corrente principale, della corrente parziale e della corrente derivata, per mezzo della intensione t della corrente primitiva, ci resta ad esprimere le condizioni che specificano queste diverse intensioni; le quali come è chiaro sono la lunghezza del circuito primitivo, l'intervallo di derivazione, la lunghezza e la sezione del filo di derivazione, supponendo per ora che si adoperino fili della stessa conducibilità.

Rappresentiamo dunque in generale con l la intera lunghezza del circuito primitivo, comprendendo, se è necessario, nel valore di l la *lunghezza ridotta* del cilindro di bismuto.

Rappresentiamo con nl la distanza de'punti a e b, ovvero l'intervallo di derivazione, il quale è sempre una frazione più o meno grande dell'intera lunghezza del circuito, e giova meglio il riportarlo a questa lunghezza che l'esprimerlo in metri o in lunghezza assoluta. Onde n sarà sempre una frazione minore dell'unità esprimente la ragione che passa tra l'intervallo di derivazione e l'intera lunghezza del circuito; n sarà $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ o $\frac{1}{100}$, secondo che l'intervallo di derivazione sarà $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ o $\frac{1}{100}$ dell'intera lunghezza del filo *racbr'*, aumentato della lunghezza ridotta del cilindro di bismuto.

Rappresentiamo, seguendo gli stessi principi, con kln l'intera lunghezza del filo di derivazione espresso sulla figura 450 da *adb*; il che significa che questa lunghezza è uguale a k volte l'intervallo di derivazione nl, in modo che k può essere un numero grandissimo o una frazione minore dell'unità: k per esempio sarà uguale a 100 o ad $\frac{1}{100}$, secondo che la lunghezza del filo sarà uguale a 100 volte l'intervallo *ab* o ad $\frac{1}{100}$ di questo.

Rappresentiamo finalmente per $\frac{s}{p}$ la sezione del filo di derivazione adb, s essendo la sezione del filo acb, in guisa che p sia la ragione delle sezioni dell' intervallo di derivazione, e del filo di derivazione medesimo che noi supporremo omogeneo in tutta la sua lunghezza: p sarebbe eguale ad 1 se i fili avessero lo stesso diametro, e sarebbe eguale a 4, 9, 16, ec. se il filo di derivazione più fino del filo acb avesse un diametro $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ec.

Premesse queste definizioni, sarà facile di trovare i valori d' x, di y e di z; perciocchè basterà applicare i principî generali all' analisi de' fenomeni che si producono.

E per fermo il filo addizionale di lunghezza knl e di sezione $\frac{s}{p}$, genera sulla corrente lo stesso effetto di un filo k volte più corto e di sezione k volte più piccolo; potrebbesi dunque ad esso sostituire un altro filo di lunghezza nl e di sezione $\frac{s}{kp}$; ma allora la comunicazione tra i punti a e b sarebbe posta da due fili della stessa lunghezza nl, ma di sezioni diverse, il 1° avendo una sezione s, il 2° una sezione $\frac{s}{pk}$; il che è chiaro esser la stessa cosa che se questa comunicazione si fosse posta da un sol filo di lunghezza nl e di sezione $s+\frac{s}{pk}=\frac{s(kp+1)}{kp}$, al quale filo può essere sostituito un altro di lunghezza $nl\frac{kp}{kp+1}$ e di sezione s.

Onde l' effetto della derivazione è semplicemente di ridurre l'intervallo di derivazione che era da prima di lunghezza nl e di sezione s, ad essere di lunghezza $\frac{nlkp}{kp+1}$ e di sezione s; per conseguenza dopo la derivazione il circuito è lo stesso di quello che avrebbe una lunghezza $l-nl+\frac{nlkp}{kp+1}$ ed una sezione s, ovvero una lunghezza $\frac{l(kp+1-n)}{kp+1}$ ed una sezione s;

La corrente principale x e la corrente primitiva t, avendo la stessa sezione e diverse lunghezze, sono fra loro in ragione inversa delle lunghezze l ed $\frac{l(kp+1-n)}{kp+1}$ che compongono il circuito; si ha dunque finalmente

$$x=t\frac{(kp+1)}{pk+1-n}.$$

Tale è il valore della corrente principale.

Per avere ora i valori di y e di z, basterà avvertire che dopo di aver sostituito, siccome abbiam fatto, al filo di derivazione un altro filo di lunghezza nl e di sezione $\frac{s}{kp}$, egli è chiaro che la somma delle intensioni della corrente parziale e della corrente derivata debba essere sempre uniforme o sempre la stessa ne' suoi diversi elementi; il che dà $y+z=x$.

Egli è chiaro egualmente che le intensioni della corrente parziale e della corrente derivata sono sempre tra loro come le sezioni de' fili per le quali esse passano, cioè come la sezione s sta alla sezione $\frac{s}{pk}$; il che dà $\frac{y}{z}=kp$, ovvero $y=zkp$.

Per mezzo di queste due equazioni e dell' antecedente valore di x, si troverà facilmente essere

$$y=t\frac{kp}{kp+1-n},$$

$$z=t\frac{1}{kp+1-n}.$$

Onde in ultimo risultamento l' intensione x, y, z della corrente principale, parziale e derivata, son date dalle tre equazione fondamentali

$$x=t\frac{(kp+1)}{kp+1-n},$$

$$y=t\frac{pk}{kp+1-n},$$

$$z=t\frac{1}{kp+1-n}.$$

Quantunque queste formole sian legittime conseguenze de' principî che per rispetto alle correnti termo-elettriche ho innanzi posti e dimostrati, pure mi è sembrato giusto dover fare nuove e sommamente svariate sperienze, non solo per rifermare i principî, ma anche per dimostrare che veramente si estendono

senza alcuna restrizione a tutti i casi possibili.

Osservazioni sopra le formole antecedenti.

Valore di n Esprimendo n, siccome abbiamo detto, la ragione che passa tra l' intervallo di derivazione e la intera lunghezza del circuito, ne segue che generalmente il valore di n non è direttamente dato, e che per conoscerlo è mestieri aver prima conosciuta la intera lunghezza del circuito e l' intervallo di derivazione Ed è necessario avvertire che l' intervallo di derivazione può essere in due modi misurato, cioè oltre della sorgente, o comprendendovi la medesima. Così nella figura 450 quest'intervallo è semplicemente *acb*, considerato senza la sorgente, e sarebbe *arr'b* se vi si comprendesse questa; ma è agevole l'intendere doversi il medesimo senza la sorgente considerare.

Posto ciò, se il circuito fosse per esempio di 100 metri, e la distanza de' punti di derivazione fosse solamente di 0^m, 1, si avrebbe $n=0,001$,

Questo valore di n potendo allora essere trascurato, le formole diverranno

$$x=t,$$

$$y=t\frac{kp}{kp+1},$$

$$z=t\frac{1}{kp+1}.$$

Onde in questo caso la corrente principale è uguale alla corrente primitiva, vale a dire la corrente primitiva non è punto dalla derivazione alterata; ma la corrente parziale e la derivata serbano la ragione generale kp, che dipende solo dai valori particolari di p e di k.

L' altro limite del valore di n è $n=1$; il che accade quando la derivazione è vicina per quanto è possibile alla sorgente, in guisa che l' intervallo di derivazione sia eguale al circuito; allora le formole generali diverranno:

$$x=t\frac{kp+1}{kp},$$

$$y=t,$$

$$z=t\frac{1}{kp}.$$

Vale a dire che in questo caso la corrente parziale è eguale alla corrente primitiva, o in altri termini, che tutta l' elettricità che passava per l' antico circuito vi passa ancora senza alcuna alterazione, e che la sorgente dà direttamente al filo addizionale di derivazione tutta la quantità di elettricità, che compete alla lunghezza, alla sezione ed alla conducibilità del medesimo.

Per conseguenza se la lunghezza del filo di derivazione sia allora uguale all' intervallo di derivazione, cioè se si abbia $k=1$, ne seguirà $z=t\frac{1}{p}$, donde se ne conchiude che la corrente derivata sia eguale alla corrente primitiva quando $p=1$, che sia doppia quando $p=\frac{1}{2}$, ec., e che la corrente principale sia sempre oguale alla somma della corrente parziale e della corrente derivata, il che in ultimo risultamento vuol dire che l' intensione della corrente è proporzionale alla sezione del circuito, siccome doveva essere.

Tra questi due limiti, n può avere tutti i valori possibili.

Valore di k. Nelle applicazioni si conoscerà in generale la lunghezza in metri del circuito di derivazione. Questa lunghezza essendo nelle nostre formole espressa dal knl, si vede che basterà dividerla per la lunghezza, in metri, dell'intervallo di derivazione, per avere il valore di k; si vede similmente questo valore rimaner constante con l'accrescere proporzionatamente l' intervallo di derivazione e la lunghezza del filo di derivazione; mentre si fanno questi cambiamenti, i valori relativi delle correnti principale, parziale e derivata restano gli stessi; i loro valori assoluti potranno essere alquanto diversi, se n non resti piccolissima.

Quando, restando la stessa la lunghezza del filo di derivazione, si faccia sempre più diminuire l' intervallo di derivazione, i valori di k cresceranno sempre più fino a divenire infiniti, quando l' intervallo divien nullo, cioè quando i due punti di derivazione sono vicinissimi tra loro; si avrà allora: $x=t$, $y=t$, $z=0$; e però non vi ha più corrente nel filo di derivazione, quando i suoi estremi toccano due punti vicinissimi del circuito primitivo.

Al contrario, secondo che l' intervallo di derivazione cresce, restando il filo di derivazione lo stesso, i valori di k saranno sempre più piccoli, e possono essere quasi nulli quando il filo di derivazione è cortissimo per rispetto all' intervallo di derivazione; in questo caso si avrà:

$$x=t\frac{1}{1-n},$$

$$y=0,$$

$$z=t\frac{1}{1-n};$$

e però non v' ha più sensibile corrente parziale; tutta l' elettricità passerà nel filo di derivazione, e la corrente derivata sarà eguale alla principale, la quale si trova molto più grande della corrente primitiva per quanto più il valore di n è vicino all' unità, il che doveva accadere.

Valore di p. Essendo p la ragione del circuito primitivo preso tra i punti di derivazione e del filo di derivazione medesimo, s'intende la lunghezza totale del circuito dover essere necessariamente stimata riferendola ad un filo omogeneo, che avrebbe la conducibilità 1 e la sezione s del filo compreso tra i punti di derivazione; onde se il circuito sia eterogeneo, sarà mestieri prima di tutto eseguire questa trasformazione per avere i valori di n, di k e di p.

Se si cambiano nello stesso tempo e nella stessa proporzione le sezioni dell' intervallo e del filo di derivazione, restando le loro lunghezze le stesse, il valore di p resterà costante, egualmente che quello di k; donde segue che le intensioni relative delle correnti principale, parziale e derivata restano le stesse, ma variano le loro intensioni assolute, perciocchè n si muta.

Quando i valori di p e di k sono alquanto grandi, e picciolo quello di n, si ha con molta approssimazione $z=\frac{1}{kp}$, cioè in questo caso la corrente derivata è proporzionale alla sezione del filo di derivazione.

Potere della conducibilità. Fu solo in grazia della semplicità, che noi supponemmo, nel ricavare le formole, che la conducibilità del filo di derivazione fosse sempre la stessa di quella del circuito compreso tra i punti di derivazione: se ciò non si avverasse, agevole sarebbe d'introdurre nelle formole i cambiamenti che ne risulterebbero, imperciocchè basterebbe osservare che, gli effetti della conducibilità essendo sempre gli stessi di quelli della sezione, se si rappresenti con c la conducibilità del circuito primitivo, e con $\frac{c}{p'}$ quella del filo di derivazione, si dovrà in tutte le formole mettere pp' in vece di p.

Notevole proprietà delle correnti. Le precedenti considerazioni ci guidano ad una notevolissima proprietà delle correnti elettriche.

E per fermo, figuriamoci un circuito termo-elettrico di 10 metri di lunghezza, formato da un cilindro di bismuto e da 10 fili della stessa materia disposti l' un presso l' altro, avendo ognuno la lunghezza di 1 metro, ma le loro sezioni siano diverse e vadano crescendo come i numeri naturali, per esempio, 1, 2, 3, 4, ec., 10; indi supponghiamo che con un filo della stessa materia, e di qual si voglia lunghezza, per esempio di 20 metri, e di una sezione eguale a quella che si è presa per unità, si faccia successivamente una derivazione agli estremi di ciascuno de' 10 fili di 1 metro, che compongono il circuito. Segue dagli antecedenti principî che i valori di n sian diversi in questi diversi casi, ma sempre in tal picciolezza da poter essere negletti; k avrà un valore costante eguale a 20, e p prenderà de' valori sussecutivi, che saranno 1, 2, 3, ec., 10. La derivazione si fa successivamente agli estremi de' fili le cui sezioni sono 1, 2, 3, ec., 10; onde la corrente derivata avrà delle intensioni decrescenti, che saranno:

$$\frac{1}{21}, \frac{1}{41}, \frac{1}{61}, \text{ec.}, \frac{1}{201}.$$

E questo in fatti l'esperienza conferma, siccome l' ho direttamente verificato per sezioni che erano tra loro come 1 a 5: ma quando la ragione delle sezioni era molto grande, sarebbe stato mestieri di fare un numero troppo grande di giri sul telaio del moltiplicatore col filo della corrente derivata; ed allora io paragonai la sua intensione con quella di una corrente termo-elettrica, generata da un altro apparecchio, la cui intensione era per esempio $\frac{1}{10}$ o $\frac{1}{30}$ di quella della corrente principale.

Onde in un circuito termo-elettrico composto di fili di sezioni diverse, la forza elementare della corrente è la stessa in tutti i punti; e frattanto quando prendonsi eguali intervalli sopra diversi fili, le correnti derivate che se ne ottengono hanno diverse intensioni, le quali sono presso a poco nella ragione inversa delle sezioni dei fili nell' intervallo di derivazione. Questa legge vale perfettamente per le correnti che attraversano dei fili eterogenei, ma allora non basta più il considerare solo le sezioni, è mestieri por mente anche alla conducibilità, osservando che un filo di una certa sostanza avente una sezione s' ed una conducibilità c' produce perfettamente lo stesso effetto di un filo di un'altra materia, avente una sezione $\frac{s'c'}{c}$ ed una conducibilità c'; in modo che se la conducibilità c' fosse eguale a $\frac{c}{2}$, la sezione del primo filo dovrebbe essere doppia di quella del

secondo per produrre lo stesso effetto. E questo è stato anche con l'esperienza verificato sulla maggior parte delle sostanze atte a potere essere agevolmente ridotte in fili. Si ottiene, per esempio, lo stesso risultamento prendendo i due punti di derivazione agli estremi di un filo di rame di 1 metro di lunghezza e quattro decimi di millimetro di diametro, ed agli estremi di un filo di platino di 10 millimetri di lunghezza e di 182 millesimi di millimetro di diametro.

Laonde nel caso in cui si può trascurare a per rispetto a kp, si conclude per ultimo risultamento che l'intensione di una corrente derivata è in ragion diretta dell'intervallo di derivazione, in ragione inversa della sezione del filo in questo intervallo, ed in ragione inversa della conducibilità del medesimo.

Derivazioni moltiplici. Quando dopo di aver fatto una prima derivazione, se ne faccia una seconda in un'altra parte del circuito, è facile il trovare le intensioni della corrente principale definitiva, delle due correnti parziali, e delle due derivate. Queste derivazioni fatte le une presso le altre con diversi fili in diverse porzioni del circuito primitivo, sono da noi chiamate *derivazioni moltiplici*. Non c'intratterremo a sviluppare le formole generali che esprimono in questo caso le intensioni de' diversi punti del circuito, perciocchè dalle cose innanzi discorse agevolmente deduconsi.

260. *Teorica del moltiplicatore applicato alla corrente termo-elettrica.* — Le leggi antecedenti possono menarci anche a determinare la più giusta disposizione che dar si possa al moltiplicatore, perchè esso abbia la maggiore sensibilità possibile. Alcuni esempi saranno sufficienti per fare intendere i principî generali, e per rendere aperto come la struttura del moltiplicatore dipenda perfettamente dal resto del circuito cui deve essere applicato.

1°. Se un moltiplicatore si debba applicare ad un circuito per se stesso molto lungo, sarà mestieri far che il filo del moltiplicatore abbia numerose spire, e sia composto con filo non molto grosso. Supponiamo in fatti che il circuito equivalga a 100 metri di un filo di rame della grossezza di $\frac{1}{10}$ di millimetro, aggiungendo a questo circuito un moltiplicatore composto con 100 metri dello stesso filo; l'intensione della corrente sarà solo ridotta alla metà; e con questi 100 metri si potran fare sul telaio numerosi giri, i quali saran vicinissimi tra loro ed opereranno sugli aghi con molta efficacia. Se il filo del moltiplicatore sia lungo 10 metri, l'intensione della corrente sarà $\frac{10}{11}$ della intensione primitiva, e si troverà per conseguenza scemata meno del caso antecedente; ma anche con 10 metri si faranno 10 volte meno giri che non se ne fecero con 100 metri, ed egli è chiaro che 10 giri, ciascuno de' quali ha un'intensione $\frac{1}{2}$, maggiore effetto producon sull'ago di un sol giro il quale abbia una intensione $\frac{10}{11}$. Se al contrario nel fare un moltiplicatore si adoperi un filo di 100 metri che abbia un millimetro di grossezza, questa aggiunzione non cambia quasi per niente l'intensione della corrente; perciocchè quando la conducibilità è la stessa, 100 metri di filo della grossezza di 1 millimetro equivalgono ad 1 metro di un filo della grossezza $\frac{1}{10}$ di millimetro; il circuito dunque diviene di 101 metri invece di 100; sembra potersi concludere che il filo di 1 millimetro di grossezza debba produrre un effetto quasi 100 volte più grande sugli aghi; ma siccome i suoi giri prenderanno molto volume, essi non opereranno con efficacia eguale a quella de' giri del filo di $\frac{1}{10}$ di millimetro. Dopo tutto questo si può stimare l'effetto della lunghezza e della grossezza del filo, e si vede anche quanto agevole sarebbe il ridurre questi principî a formole rigorose.

2°. Se trattasi di applicare un moltiplicatore ad un circuito per se stesso molto corto, converrà comporlo con fili molto grossi ed avvolti in pochissimi giri; il che con ragionamenti simili all'antecedente si può agevolmente comprendere.

Laonde in ultimo risultamento, quando è in nostro potere di ridurre a nostro talento la lunghezza del circuito, cui si voglia il moltiplicatore applicare, si può dire con verità che il moltiplicatore non moltiplica punto; poichè supponendo che il resto del circuito possa essere negletto, egli è chiaro che per avere 10 giri nel moltiplicatore converrà dare al suo filo una lunghezza decupla, il che ridurrà l'intensione della corrente alla sua decima parte, in modo che con un sol giro 10 volte più intenso si avrebbe lo stesso risultamento.

261. *Misure delle alte temperature.*—Sonomi adoperato di far tesoro delle leggi delle correnti termo-elettriche per costruire un *pirometro magnetico*, il quale potesse servire a misurare tutte le temperature dalla più bassa fino alla più alta. Io debbo qui dare

un'idea di questo strumento, il quale è composto di due parti distinte, cioè del pirometro stesso e della *bussola pirometrica* la quale serve come d'indice.

Il *pirometro* è dinotato dalla figura 453: *ab* è un tubo di ferro o piuttosto una canna di archibugio; dal mezzo della culatta *c* del fondo parte un filo di platino il quale è incorporato nella massa del ferro ed attraversa l'asse della canna, venendo ad unirsi al pezzo di rame *x* col quale è saldato; dalla culatta anulare *d* parte un secondo filo di platino il quale è saldato col pezzo di rame *y*; il primo filo di platino è mantenuto da un coibente nel mezzo della culatta anulare *d*, affinchè non possa toccarla; *f* è un pezzo di legno fermato all'estremo del tubo, ordinato a portare i due pezzi di rame *x* e *y*.

La *bussola pirometrica* è composta da un moltiplicatore *m* (*fig.* 454), formato con un nastro di rame largo 15 in 20 millimetri, e da un ago da bussola *ab'* (*fig.* 455), sostenuto da un perno in mezzo del moltiplicatore; questo ago porta perpendicolarmente alla sua lunghezza una lamina di legno *cd*, sulla quale è segnata una linea di riscontro, che serve per giudicare dalla vera giacitura dell'ago. Il moltiplicatore ed il suo ago son montati sopra l'alidada mobile di un cerchio graduato. Quando il piano di mezzo del moltiplicatore sta perfettamente nel meridiano magnetico, lo strumento è al suo zero, e la linea di riscontro e l'indice dell'ago cadono sotto il filo di una lente o di un cannocchiale, ch'è unito al moltiplicatore, e che lo accompagna in tutti i suoi moti. Ora se si faccia passare una corrente per lo moltiplicatore l'ago è deviato, e si gira l'alidada che porta il moltiplicatore, fino a che il filo del cannocchiale giunga alla linea di riscontro dell'ago: il cerchio fisso indica i gradi che si son dovuti percorrere per giungere a questo punto, e si ha così la giusta misura del deviamento. Operando in questa guisa, si può esser certo che l'ago ha sempre la stessa giacitura per rispetto alla corrente: per tal ragione io chiamo questa bussola, *bussola de' seni*, perciocchè la intensione della corrente in questo caso è misurata dal *seno del deviamento*. Sia infatti *cm* il meridiano magnetico (*fig.* 451), *c* il centro dell'ago, il quale è anche il centro di rotazione, *ca* la giacitura dell'ago, e *d* il suo deviamento: la componente della forza terrestre *f*, che è diretta secondo *at*, e che tende a rimaner l'ago nel meridiano magnetico, è *fsend*; la forza φ della corrente opera sempre secondo *az*; ossia perpendicolarmente all'ago, perciocchè quella lo accompagna nel suo moto finchè il suo piano verticale passi perfettamente per l'ago; si dovrà dunque avere: $\varphi = f\,sen\,d$.

Questa maniera di misurare l'intensioni mercè i deviamenti è nello stesso tempo commodissima e molto rigorosa; essa mi è stata di gran giovamento nelle mie ricerche.

La comunicazione tra il pirometro e la sua bussola si ha per mezzo di due fili di rame del diametro di 1 millimetro circa; terminati da due cavicchie di rame, le quali da una parte s'impiantano ne' pezzi *x* ed *y* del pirometro, e dall'altra negli estremi del nastro; onde il moltiplicatore della bussola è formato.

L'estremo *a* del pirometro è ordinato ad essere la saldatura calda, ed affinchè il ferro non resti alterato dal fuoco, si copre questa saldatura con luto *refrattario*.

Questo strumento è stato graduato, per mezzo del pirometro ad aria che descrivemmo altrove (§ 131), e le dimensioni sono state regolate in maniera che una differenza di temperatura di 100° centigradi rispondesse ad un deviamento angolare di 4 in 5°. Questa graduazione rimane esatta, finchè lo strumento non sia stato esposto alle temperature capaci d'alterare il ferro. S'intende che le indicazioni di questa bussola non dipendono dallo stato magnetico dell'ago, purchè i suoi poli non mutino sensibilmente di luogo.

Graduando più pirometri simili a quello innanzi descritto, io ho osservato questo notabile fatto, cioè che l'intensione della corrente non è punto proporzionale alla temperatura: la *forza* elettromagnetica media corrispondente a ciascun grado va decrescendo dalla temperatura ordinaria fino a quella del rosso incipiente, indi cresce per riprendere verso i 1000° l'intensione che aveva vicino allo zero, e continua così oltre di questo punto rapidamente a crescere. (*Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, dicembre 1836).

262. *Intensione magnetica della terra*.—Se si può far nascere in ogni tempo ed in ogni luogo una corrente elettrica che abbia una intensione costante, è chiaro la sua azione sull'ago calamitato poter essere paragonata all'azione magnetica della terra, e poterci dare di questa una misura paragonabile e giustissima; e per far ciò è mestieri ben diffinire le condizioni sotto le quali una forza elettromagnetica si faccia operare. Noi ci faremo ad

indicare la corrente costante che ci sembra più agevole ad ottenere, e le condizioni sotto le quali si può fare operare in una maniera perfettamente sicura.

Il rame ed il bismuto son due metalli che possono facilmente aversi nello stato di purezza, e che hanno oltre a ciò la proprietà di far nascere col loro contatto una molta vigorosa corrente termo-elettrica. La purezza del rame poi può essere *a posteriori* verificata, perciocchè si potrà paragonare la sua conducibilità a quella del mercurio distillato. Vuolsi dunque aver per fermo che il bismuto purificato ed il rame saggiato, paragonandolo al mercurio, diano correnti perfettamente identiche, quando avendo le stesse dimensioni abbiano alle due saldature le temperature medesime, tra 0 e 100° per esempio. Le dimensioni da me adoperate sono, per il bismuto il cilindro della figura 446 il quale ha 20 millimetri di diametro e 150 di lunghezza nella parte dritta oltre i 50 millimetri delle due appendici perpendicolari, e per lo rame un filo di un millimetro di diametro e di 20 metri di lunghezza. Ecco ben definito il circuito, e la corrente che ne nascerà sarà perfettamente costante in ogni tempo e in ogni luogo sempre che la saldatura fredda sia tenuta a 0 ed a 100° la calda.

Veniamo ora alle condizioni che sonomi parute le più convenienti per fare operare questa corrente sull' ago calamitato. Io ho fatto per lo moltiplicatore un telaio di ottone espresso dalla figura 452, dov' è guardato da sopra ed in una sezione; la parte esterna sulla quale il filo si avvolge ha 200 millimetri di lunghezza nella sua parte dritta, e gli estremi curvi son cerchi di 15 millimetri di raggio; in guisa che un giro di un filo corrisponde presso a poco alla lunghezza di 500 millimetri.

Il filo di 20 metri fa 20 giri sul telajo ed opera sopra un ago di un decimetro, rappresentato sulla figura 452 fra le due aperture del telajo; esso porta a ciascuno dei suoi estremi un indice leggiero sul quale si fanno dei segni di *riscontro*; quando quest' ago sta sul perno, siccome si vede nella figura che esprime la sezione dello strumento, è facile di farlo tornare perfettamente allo stesso punto. Il telaio è posto sopra un' alidada mobile di un cerchio graduato da formare una bussola di seni. Lo strumento essendo al suo zero, si riduce la saldatura fredda a 0 e la saldatura calda a 100°, indi osservasi il corrispondente deviamento: a Parigi questo è di 20°, 15, e ne' vari luoghi della terra, o nello stesso luogo in tempi diversi, le intensioni del magnetismo terrestre saranno in ragione inversa del seno del deviamento.

Questo strumento sembrami il più semplice od il più giusto per determinare con certezza la intensione del magnetismo terrestre.

263. *Varie sorgenti termo-elettriche.* — La forza elettromagnetica che nasce al contatto di due metalli, non è stata ancora esaminata con tutta la diligenza che meritava; onde noi abbiam veduto che al contatto del platino e del ferro questa forza varia con la temperatura ed ha un minimo d' intensione media che corrisponde alla temperatura del rosso incipiente; altre sperienze mi han fatto conoscere che al contatto del bismuto e del rame questa forza è perfettamente costante, vale a dire proporzionale alla temperatura da 100° al di sopra dello 0 fino a 78° al di sotto, ch' è la temperatura di un miscuglio di etere e di acido carbonico solido, temperatura che ho determinato nello stesso tempo col pirometro ad aria, col pirometro a bismuto e rame, e col termometro ad alcool. (*Comptes-Rendus de l' Acad. des Sciences*, aprile 1837, *t.* IV, *p.* 514). Becquerel ha fatto anche molte sperienze sul proposito (*t.* 2, *p.* 46 *e seg.*): ma ancor restano molte ricerche da fare per determinare con precisione le variazioni che la forza elettromagnetica soffre nella sua intensione a diverse temperature per certi dati metalli, e specialmente resta a paragonare tra loro le intensioni delle correnti che sono generate dalle diverse sorgenti termo-elettriche.

264. *Pile termo-elettriche.* — Per conoscer le leggi dello sviluppo dell'elettricità nelle pile termo elettriche io ne ho composto di 8, di 24, di 32 elementi, bismuto e rame: due di questi elementi sono espressi nella figura 457; la figura 458 rappresenta la pila di 8 elementi guardati di sopra ed in prospettiva: alcuni vasi di argilla alternativamente pieni di ghiaccio e di acqua calda servono a tenere le saldature fredde a zero e le calde a 60 o 80°. Un piccol ago calamitato sospeso ad un filo di seta si pone sul mezzo di un elemento di rame, e fa conoscere con le sue vibrazioni l'intensione della corrente che passa per la pila.

Con questo mezzo è facile il dimostrare essere perfettamente vero il principio generale indicato già da Oersted e Fourier, cioè che l' intensione della corrente è proporzionale al numero degli elementi che sono in attività; ma dimostrasi ancora che sia qualunque il numero degli elementi di una pila, quando son tutti messi in azione, l' intensione assoluta della corrente è perfettamente la stes-

sa. Onde la corrente della pila di 32 elementi ha perfettamente la stessa intensione della corrente della pila di 24 e di 8 elementi, quando le differenze di temperature siano le stesse, e si può anche aggiugnere esser della stessa intensione anche la corrente generata da una sola coppia, purchè la differenza di temperatura sia la stessa. Donde segue che se si ponga in attività una sola coppia della pila di 32 elementi, la corrente non è che la sedicesima parte di quella generata da una sola coppia ossia da due elementi: il che è una novella dimostrazione della nostra legge fondamentale, che l' intensione è in ragione inversa della lunghezza del circuito.

Ecco un altro fatto importante che mi è occorso di notare, e del quale si ha la spiegazione e la misura con la teoria delle correnti derivate.

Se in una pila di 8 elementi (*fig.* 458) si riscaldino solo due saldature 1 e 4 allo stesso grado, tenendo tutte le altre a 0, nessuna corrente apparirà nella pila; il che deve accadere, perciocchè le saldature non possono far nascere se non che due correnti uguali e contrarie; ma se allora pongasi una comunicazione *vv'* tra i due elementi rame *cd* ed *ef*, tosto questa traversa darà passaggio ad una vigorosa corrente. Donde segue questa importante conseguenza, che le correnti contrarie nascenti da due saldature 1 e 4 punto non si distruggono, ma ciascuna di esse circola come se fosse sola. Per mettere pianamente in chiaro questa verità, basta osservare l' intensione della corrente *vv'*, e dimostrare siccome ho fatto che questa intensione è precisamente quella che risulta dalla unione delle correnti derivate, contrarie e disuguali, che debbono passare per la unione *vv'*.

Onde le opposte correnti non si distruggono, o vogliam dire i fluidi elettrici non si riducono allo stato di equilibrio e di quiete, ma ciascuno di essi compie i moti che solo avrebbe eseguiti (1).

Le pile delle quali abbiam parlato sono state fatte col fine di cercar le leggi fondamentali delle correnti; ma per ragion della loro massa e del loro volume esse non possono servire per le osservazioni termometriche. Tra le pile finora costruite per questo oggetto, quella del Nobili è sicuramente la più ingegnosa e la più sensibile; essa è rappresentata dalla figura 459. Questa pila è composta di 25 o 30 verghe di bismuto e di antimonio delicatissime, aventi 4 o 5 centimetri di lunghezza; esse son saldate siccome vedesi nella figura 460, in modo che tutte le saldature pari siano da una parte e tutte le impari dall' altra; la loro unione forma un piccol fascio compatto e solido per cagione delle sostanze isolanti che tramezzano le piccole verghe, le quali non debbonsi toccare in altro punto fuorchè nelle saldature: finalmente i due *semi-elementi* nei quali termina la catena comunicano uno con la cavicchia *x* e l' altro con *y*, le quali forman così i due poli della pila.

Due fili avvolti in elica rada e coperti di seta pongon la comunicazione tra i poli della pila ed il moltiplicatore.

Se si conoscesse con precisione la conducibilità del bismuto e dell' antimonio, si potrebbe agevolmente calcolare la lunghezza di un filo di rame di una data grossezza che rappresenta il circuito della pila, e quindi ricavarne il numero de' giri che converrebbe dare al moltiplicatore, affinchè esso avesse la maggiore possibile sensibilità. In mancanza di questo metodo diretto, si potrebbe adoperare un metodo indiretto, aggiungendo successivamente al circuito della pila due diverse lunghezze di uno stesso filo di rame, ed osservando le corrispondenti intensioni; quindi agevolmente si dedurrebbe che il circuito della pila diminuisce l' intensione della corrente per quanto lo farebbe una determinata lunghezza di questo filo. Ma per via di semplici tentativi si giunge a formare un moltiplicatore che corrisponde allo scopo con sufficiente sensibilità. Vedremo in parlando del calor raggiante le belle ricerche fatte dal Melloni con questo strumento, al quale egli dà il nome di termo-moltiplicatore.

Correnti idro-elettriche.

265. ***Bussola de' seni, e bussola delle tangenti.*** — Le leggi delle correnti idro-elettriche non sono meno semplici e meno generali di quelle delle correnti termo-elettriche; ma per fondarle sopra misure d' intensioni bastantemente giuste, ci è stato forza ricorrere ad istrumenti particolari cui abbiam dato il nome di *bussola de' seni* e *bussola delle tangenti*; darem da prima un' idea di questi strumenti.

Bussola de' seni. Abbiamo già innanzi (261)

(1) Tutto questo potrebbe esser vero, ma non si può legittimamente dedurre dall' esperienza sulla quale l' Autore si appoggia, imperocchè con l' aggiunta della traversa metallica le cose sono cambiate, ed il sistema può esser considerato come composto da due elementi dai quali nascer deve quella doppia corrente osservata dal Pouillet.

indicato il principio dal quale dipende la bussola de' seni: aggiungeremo solo che abbiam dovuto adoperare parecchi strumenti di questa natura aventi diverse sensibilità; per accrescere la sensibilità basta avvicinare all' ago il circuito che deve operare sopra di esso, e per minorarla basta per l' opposto allontanarnelo; da ultimo il circuito può essere semplice e non fare che un giro solo, siccome può essere moltiplice e rappresentare un vero moltiplicatore.

La figura 461 rappresenta una bussola semplice.

La figura 462 dinota una bussola il circuito della quale può essere a piacimento semplice o moltiplice, perciocchè il cerchio scanalato *abcd* è libero nella sua parte inferiore *d* (*fig.* 462 *bis*), in modo che possa agevolmente passare il filo che porta la corrente ed accrescerlo o diminuirlo nel numero de' giri pe' quali opera sull' ago. Il diametro del cerchio è $\frac{1}{3}$ di metro, in guisa che ogni giro del filo è di un metro.

Io ho fatto uso di altre bussole di diversa sensibilità. La figura 463 rappresenta quella di media grandezza, essa può essere semplice o a moltiplicatore; il diametro del suo cerchio è 22 centimetri. Vedremo appresso come le sensibilità di queste varie bussole possono essere perfettamente paragonate: esse, siccome abbiam detto, non dipendono dallo stato magnetico dell' ago, purchè questo abbia una sufficiente forza direttrice.

Bussola delle tangenti. La bussola delle tangenti espressa nella figura 464 è composta di un gran cerchio di 4 in 5 decimetri di diametro il quale è il cerchio della corrente; esso è formato da una striscia di rame larga 20 millimetri e grossa 2; questa striscia è coperta di seta, ed i suoi due estremi piegati a piccola distanza tra loro, quasi volendosi prolungare nella direzione de' raggi, si allontanan poi per immergersi in due ciotole contenenti del mercurio; il cerchio della corrente è verticalmente disposto sopra una specie di banco, che ha una fessura nel mezzo secondo la sua lunghezza, nel quale entra l' anzidetto cerchio; e sopra questo banco sta un cerchio graduato orizzontale, sul quale pende un ago da bussola sospeso ad un fil di seta entro una campana di vetro, la quale si appoggia sull' anzidetto banco: tutte queste parti sono ordinate a far che il centro dell' ago corrisponda per quanto è possibile al centro del cerchio della corrente, e per conseguenza affinchè la direzione dell' ago coincida col piano verticale del cerchio, quando questo è perfettamente diretto nel piano del meridiano magnetico.

Stando così le cose, è chiaro che se i poli di una pila s' immergono nelle ciotole piene di mercurio, entro le quali trovansi già i piedi del cerchio, la corrente passerà per lo cerchio ed opererà sull'ago calamitato, riducendone il polo australe verso l' oriente o verso l' occidente; è parimenti chiaro aversi una ragione determinata tra la forza della corrente e l'angolo di deviamento dell' ago. Ora è agevole l' intendere che se l' ago non è molto lungo per rispetto al raggio del cerchio, l'intensione della corrente sarà misurata dalla tangente dell' angolo di deviamento. Frattanto se è mestieri che l' ago sia corto, per questa ragione è mestieri pure che abbia una sufficiente lunghezza, affinchè si possa agevolmente misurare un quarto, un quinto, ed anche un sesto di grado. Per conseguire questo doppio scopo, l' ago calamitato si è fermato giusto perpendicolarmente sopra un lungo ago di rame leggerissimo i cui estremi percorrono le divisioni del cerchio graduato. È mestieri che lo strumento sia perfettamente regolato, e per questo basta l' osservare se i deviamenti de' due estremi dell' ago di rame sian sempre tra loro eguali, e se l' effetto della corrente che passa per un verso e per l'altro sia sempre lo stesso. Quando gli angoli giungono a 75 o 80° un errore di 10 minuti nella lettura, corrisponderebbe ad una differenza d' intensione di tal grandezza da non poter essere negletta: laonde si possono tenere come giuste le indicazioni che sono al di sotto de'75° o 80°; ma siccome è possibile di misurare meno di un mezzo grado, così è chiaro che la bussola delle tangenti può servire a paragonare correnti una delle quali sia 300 volte più grande dell'altra.

266. ***Leggi dell' intensione della corrente generata da un solo elemento.*** — L'elemento idro-elettrico adoperato in queste ricerche è dinotato dalla figura 466; esso è l'elemento alla Daniell che descriveremo appresso, cap. 7; questo si è preferito perchè era allora il solo che possedeva una forza costante, e quindi dava il campo di poter conoscer le leggi partendo da dati precisi. La corrente di questi elementi giunge alla bussola per mezzo di due grosse aste di rame *c* e *d* (*fig.* 464), aventi un centimetro di diametro e mezzo metro di lunghezza.

Per determinare la legge secondo la quale scema l' intensione della corrente al crescere della lunghezza del circuito, si fanno con lo stesso filo diverse lunghezze, per esempio di 5ᵐ, 10ᵐ, 40ᵐ, 70ᵐ e 100 metri; quando

questi fili son coperti di seta, si avvolgono a corona (*fig.* 463), e si circondano con un nastro in modo che i due estremi *a* e *b* piegati ad uncino possano agevolmente immergersi nelle ciotole di mercurio. Sarebbe anche buono da prima amalgamarli: indi si opera nel modo seguente.

Si fa passare la corrente direttamente nella bussola, e si osserva il deviamento; indi successivamente si pongono nel circuito tutti i fili della serie, notando con somma diligenza le corrispondenti declinazioni.

Ecco per esempio il risultamento di una osservazione.

Lunghezza aggiunta al circuito	Deviamento osservato.	Tangente del deviamento.
0met.	62° 00'	1,880
5	40 20	0,849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Da prima non osservasi alcuna regolarità nell' andamento decrescente della intensione delle correnti, corrispondente agli accrescimenti nella lunghezza del filo; ma se si voglia considerare che il filo aggiunto al circuito primitivo non è il solo ostacolo che la corrente deve superare, ma che si debba tener conto anche del liquido dell' elemento, del cerchio della bussola e de' varî conduttori che servono a compiere il circuito, non si durerà fatica nel supporre che l'insieme di queste varie resistenze, che io chiamo *resistenza dell' elemento*, possa essere espressa da una certa lunghezza sconosciuta x, che sia stata aggiunta al circuito, in modo che realmente le lunghezze del circuito, i deviamenti e le tangenti o le intensioni osservate danno la seguente tabella:

Lunghezza del circuito.	Deviamenti osservati	Tangenti de' deviamenti.
x	62° 00'	1,880
$x+5$	40 20	0,849
$x+10$	28 30	0,543
$x+40$	9 45	0,172
$x+70$	6 00	0,105
$x+100$	4 15	0,074

Se le intensioni delle correnti idro-elettriche fossero come le termo-elettriche in ragione inversa delle lunghezze del circuito, agevole sarebbe il ricavar da questi dati il valore di x, che in questo caso dovrà essere costante. Or paragonando secondo questo princio la prima osservazione con ciascuna delle seguenti, se ne hanno valori di x poco diversi l' uno dall' altro: questi valori sono: 4m, 11; 4, 06; 4, 03; 4; 14; 4, 09; de' quali il medio sarebbe 4, 08.

Laonde la resistenza dell'elemento è espressa da 4m, 08 del filo di rame, di cui diverse lunghezze sono state aggiunte al circuito. Attenendosi a questa lunghezza ed alla legge generale delle intensioni in ragione inversa dell'intera lunghezza del circuito, si possono agevolmente calcolare i deviamenti che avrebbonsi dovuti avere, e paragonarli a quelli che direttamente dall' osservazione sonosi avuti.

Ecco la tavola de' risultamenti:

Lunghezza del circuito.	Deviamenti calcolat.	Deviamenti osservati.	Differenze.
4m,08	62° 00'	62° 00	+ 2'
9 ,08	40 18	42 20	— 11
14 ,08	28 41	28 30	— 11
44 ,08	9 56	9 45	+ 3
74 ,08	5 57	6 00	+ 1
104 ,08	4 11	4 15	

Una tale coincidenza tra i diretti risultamenti dell' osservazione, e quelli che deduconsi dalla legge generale applicata alle correnti idro-elettriche, ci toglie ogni dubbio sulla giustezza di questa legge.

Io riferisco qui un solo esempio per dare un' idea del metodo di osservare; ma debbo aggiungere che le sperienze sono state verificate per quanto lo richiedea l' importanza del soggetto, e che numerose serie sono state fatte con vigorosissimi o debolissimi elementi, e con fili ottimi o pessimi conduttori, siccome l'oro, l' argento, il platino, l' ottone ed il ferro. Aggiungerò solamente che i fili di ferro o di ottone, quantunque tagliati dallo stesso capo, non han sempre la stessa conducibilità, e però tutti i risultamenti non presentano un accordo così perfetto siccome quelli innanzi riferiti; ma quando si voglia prendere la pena di osservare direttamente la conducibilità e di tenerne conto; tutte le piccole irregolarità si vedranno sparire.

Quando la resistenza di un elemento sia stata una volta determinata, mercè un filo di conosciuta sezione e conducibilità, agevole sarà di trovare il numero che dovrà esprimerla, quando si adopera nelle esperienze un altro filo qualunque; questa resistenza per esempio che è 4,08 per lo filo dell' antecedente esperienza, sarà 408m per lo filo dello stesso diametro, la cui conducibilità fosse 100 volte più grande, ec., ec. Si può anche con questo mezzo, siccome io aveva fatto altra volta, determinare la conducibilità relativa de' differenti metalli: ma gli elementi comuni alla Wollaston o spirali, da me adoperati allora, soffrivano tale variazione d' intensione che riesciva impossibile per mezzo di essi dimostrare la legge della quale si tratta, con una sufficiente precisione.

Segue da ultimo da queste osservazioni, che tanto per le sorgenti idro-elettriche quanto per le termo-elettriche, l' intensione della corrente è in ragion diretta della sezione e della conducibilità, ed in ragione inversa della lunghezza totale; ma questa lunghezza non è punto la lunghezza apparente; essa è la lunghezza di tutte le diverse parti della corrente, ridotta ad una stessa sezione e ad una stessa conducibilità, mercè i principî altrove dichiarati (§.257).

267. *Correnti derivate.* — Le formole delle correnti derivate da noi dichiarato innanzi (§ 259), si applicano senza restrizione alcuna alle correnti idro-elettriche, quando siasi determinata, siccome non ha guari dicemmo, la resistenza della sorgente, dalla quale la corrente prende la sua origine; se non che è mestieri aver cura di esprimere la lunghezza totale del circuito col farvi entrare questa resistenza, in valore numerico corrispondente alla sezione ed alla conducibilità che si sceglie, per esprimere le lunghezze di tutte le altre parti del circuito.

I risultamenti di queste formole sono più facili a verificare, imperciocchè le correnti son molto più intense; gli strumenti de' quali sonomi giovato per questo oggetto sono delle bussole de' seni, simili a quelle dinotate dalle figure 461 e 465, ma di sensibilità diverse secondo le diverse intensioni che trattavasi di osservare.

268. *Legge della intensione delle correnti generate da una pila.* — Le pile da me adoperate in queste ricerche sono state composte con elementi simili a quello espresso nella figura 495; sono stati disposti in una maniera conveniente per poterne osservare ciascuno separatamente: riferiremo qui una numerosa serie di esperienze fatte con una sola pila di sei elementi per indicare la strada che si è tenuta.

Si è da prima determinata la intensione e la resistenza di ciascuno elemento.

Ecco la tavola de' risultamenti:

NUMERO degli elementi	LUNGHEZZE aggiunte all'elemento	DEVIAMENTI osservati	TANGENTI o intensioni	RESISTENZA
1	0^met	69° »	2,600	»^m,»
	5	43 20'	0,943	2,85
	10	30 »	0,577	2,85
	40	11 »	0,194	3,20
			Media . . .	2,97
2	0	66 30	2,300	3,»
	5	43 »	0,933	3,41
	10	29 40	0,570	3,35
	40	10 40	0,188	3,55
			Media . . .	3,44
3	0	67 40	2,434	»,»
	5	42 30	0,916	3,02
	10	29 40	0,570	3,05
	40	10 20	0,182	3,23
			Media . . .	3,10
4	0	67 »	2,355	»,»
	5	42 30	0,909	3,19
	10	29 40	0,570	3,19
	40	10 20	0,182	3,35
			Media . . .	3,25
5	0	68 »	2,475	»,»
	5	43 20	0,943	3,08
	10	30 30	0,589	3,13
	40	11 »	0,194	3,40
			Media . . .	3,21
6	0	64 »	2,050	»,»
	5	41 »	0,869	3,68
	10	28 40	0,549	3,64
	40	10 »	0,176	3,75
			Media . . .	3,69

Onde questi elementi avevano presso a poco la stessa forza, ad accezione del sesto che era alquanto più debole.

Le comunicazioni essendo poste tra tutti gli elementi, si aveva una pila di tale forza da potere arroventare un filo di platino di $\frac{1}{4}$ di millimetro.

Si è fatto poi passare la corrente che essa potea produrre per la bussola delle tangenti, e sonosi ottenuti i risultamenti che seguono, adoperando il filo di rame delle antecedenti esperienze.

LUNGHEZZE aggiunte	DEVIAMENTI osservati	TANGENTI de' deviamenti	RESISTENZA
0$^{met.}$	68°30′	2,538	» , »
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 »	0,810	18,01
70	28 »	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
	Media		18,43

Questi notevoli risultamenti dimostrano da prima, l'intensione di una corrente generata da una pila di sei elementi essere minore in apparenza di quella di una corrente generata dal più vigoroso elemento, imperciocchè l'elemento n°. 1 aveva dato un deviamento 69°, e la pila intera ne dà solo uno di 68°,30′.

Questi risultamenti fanno indi conoscere che la resistenza di una pila è molto più grande di quella di ciascuno de' suoi elementi, ma che la sua intensione resta soggetta alla legge generale, vale a dire che essa è, siccome per un semplice elemento, in ragione inversa della totale lunghezza del circuito.

Ma rimane a trovare la ragione, che certamente dovrà regnare tra l'intensione della pila e quella dei varî elementi onde è formata. Perciò noi osserveremo da prima che unendosi varî elementi per comporne una pila, la corrente dell'elemento n°. 1 non deve più attraversare solo la lunghezza del suo circuito e quello della bussola, ma anche tutti gli altri elementi, e però deve indebolirsi proporzionatamente alla lunghezza che rappresenta la resistenza di questi elementi, che lo stesso debba essere dell'elemento n°. 2 e di tutti gli altri.

Per conseguenza se si rappresenti con

t_1 ed r_1 l'intensione e la resistenza del 1°. elemento
t_2 ed r_2 . . . . del 2°. elemento
t_3 ed r_3 . . . . del 3°. elemento ec., ec., ec.

queste resistenze essendo siccome di sopra è detto determinate, è chiaro che quando la corrente dell'elemento n°. 1 entra nella pila dovrà attraversare la sua propria lunghezza r_1, quindi la lunghezza $r_2 - a$, rappresentando con a la lunghezza della bussola e dei conduttori comuni, la quale devesi sottrarre da r_2; indi dovrà attraversare la lunghezza $r_3 - a$ del 3° elemento, la lunghezza $r_4 - a$ del 4° elemento, ed in fine la lunghezza l che si aggiunge al circuito; onde la corrente dell'elemento n° 1 dovrà in ultimo risultamento attraversare una lunghezza espressa da

$$r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n - a(n-1) + l,$$

ovvero da

$$\Sigma r - a(n-1) + l,$$

dinotando con Σr la somma delle quantità simili $r_1 + r_2 + \ldots + r_n$. Or se per una lunghezza r_1 l'intensione della corrente sia t_1, egli è chiaro che per una lunghezza

$$\Sigma r - a(n-1) + l.$$

la sua intensione sarà:

$$\frac{r_1\, t_1}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

Per la stessa ragione la intensione del secondo elemento sarà espressa da

$$\frac{r_2 t_2}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

quella del terzo da

$$\frac{r_3 t_3}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

in modo che la somma delle intensità di tutti gli elementi della pila sarà finalmente espressa da

$$\frac{\Sigma rt}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

esprimendo con Σrt la somma de' prodotti simili $r_1 t_1 + r_2 t_2 +$ ec.

Tale è dunque la formola generale che espri-

zioni

$$\rho = \Sigma r - a(n-1),$$

e

$$\tau = \frac{\Sigma rt}{\Sigma r - a(n-1)}.$$

Se si potesse dunque per mezzo di qualche reazione chimica o di qualunque altra cagione atta a svolgere elettricità, comporre un elemento la cui resistenza propria fosse eguale a $\Sigma n - a(n-1)$, questo elemento potrebbe generare tutti gli effetti della pila; perciocchè accrescendo le superficie o adoperando qualche altro mezzo, si giungerebbe certamente a dargli una tensione che soddisfi all' equazione

$$\tau = \frac{\Sigma rt}{\Sigma r - a(n-1)}.$$

Allora in ogni caso questo elemento si comporterebbe come una pila e produrrebbe gli effetti medesimi.

Seconda conseguenza. Se tutti gli elementi abbiano la stessa forza, la formola generale diverrà $\frac{nrt}{nr - a(n-1) + l}$.

Se a sia picciolissima per rispetto ad r (il che si può sempre fare), la formola renderassi ancor più semplice, e sarà $\frac{nrt}{nr + l}$.

Da ultimo se si faccia $l = pr$, cioè se il conduttore attraversato dalla corrente sia espresso da p volte la resistenza di un elemento, l' intensione della pila si ridurrà ad $\frac{nt}{n+p}$.

Laonde se p è piccola per rapporto ad n, il che avviene in una pila di molti elementi la corrente della quale attraversi de' conduttori di grande sezione e conducibilità, l' intensione si ridurrà ad $\frac{nt}{n} = t$; cioè in questo caso l' intensione della pila non sarà maggiore di quella di un solo elemento.

Al contrario se p sia molto grande per rispetto ad n, il che accade quando la corrente della pila debba attraversare qualche liquido o solamente grande lunghezza di un filo sottilissimo o poco deferente, e quando il valore di r sia piccolo, cioè quando il liquido della pila sia molto buon conduttore, l' intensione allora sarà espressa da $\frac{nt}{p}$, cioè sarà proporzionale al numero degli elementi.

Questi due estremi casi sono i due limiti tra i quali l' intensione di una pila qualunque è necessariamente ristretta. Onde nel caso più sfavorevole l' intensione della pila non è nè più nè meno grande di quella di un elemento: nel caso più favorevole essa è proporzionale al numero degli elementi: da ultimo nei casi comuni ha un valore intermedio compreso tra questi limiti.

La tensione della corrente dunque altro non è in ultimo risultamento se non che la facilità di attraversare *un lungo circuito*, senza scemare gran fatto d' intensione; e quando diciamo lungo circuito, convien sempre intendere la lunghezza reale e non l' apparente. Se trattasi per esempio di un circuito d'acqua acidulata di alcuni millimetri di lunghezza, converrà persuadersi che questo circuito espresso in lunghezza di filo potrà equivalere a milioni di metri secondo la conducibilità o la sezione del filo che si sarà scelto per esprimere le resistenze degli elementi.

269. *Legge della intensione di una corrente generata da parecchi elementi riuniti polo con polo fra loro.* — Quando si riuniscono due elementi polo con polo per fare poi passar la corrente che ne risulta per un circuito qualunque, egli è facile mercè gli stessi principî determinare l' intensione della corrente quando si conosca l' intensione e la resistenza di ciascuno elemento: basterà perciò osservare che considerando solo il primo elemento in azione, il secondo elemento dovrà dare il passaggio ad una corrente derivata della quale si potrà conoscere l' intensione; indi considerando a sua posta il secondo elemento come solo in azione, il primo darà egualmente passaggio ad una corrente derivata, la cui intensione può del pari essere agevolmente conosciuta. Cotesti computi son facili dopo quel che innanzi dicemmo, ma son lunghi per modo che non possono qui essere additati; diacem solo la formola generale che ne risulta, e che rappresenta l' intensione di una pila di questa natura composta di n elementi, le cui intensioni e resistenze siano espresse da t_1, r_1, t_2, r_2, ec. Questa formola è la seguente:

$$\frac{r_1 r_2 \ldots r_n (t_1 + t_2 + \ldots t_n)}{r_1 r_2 \ldots r_n + a(r_2 r_3 \ldots r_n + r_1 r_3 \ldots r_n + \text{ec. } r_1 r_2 \ldots r_{n-1})}$$

za, di una conveniente larghezza, sonosi impiantate dall'uno e dall'altro capo molte piccole cavicchie di legno, di due centrimetri di altezza, di 5 centimetri di diametro, ed ordinate in modo da lasciare un intervallo di un centimetro tra centro e centro; indi si è fatto passare un filo di platino da una cavicchia all'altra corrispondente nell'estremo opposto della tavola, fino a che i 200 metri di lunghezza del filo di platino fossero in tal modo esposti senza toccarsi; ad ogni cavicchia di quelle ordinate ad un estremo corrispondono 4 metri di filo, laonde si hanno 50 cavicchie da una parte ed altrettante dall'altra: da ambe le parti il filo è fermato mercè una goccia di ceralacca.

Presso questo apparato disponsi orizzontalmente un tubo cilindrico della lunghezza di un metro e di 20 millimetri di diametro, pieno di una soluzione di solfato di rame; indi la corrente di una pila si fa passare per una bussola e per la soluzione anzidetta, osservando con molta accuratezza la corrispondente declinazione; immediatamente dopo si fa passare la stessa corrente per la stessa bussola e per una conveniente lunghezza del filo di platino, in guisa da avere nella bussola la stessa declinazione, il che si ottiene senza molti tentativi, imperciocchè il filo di platino si tocca con una punta di rame bene amalgamata, la quale si fa passare da un filo all'altro, si porta avanti e dietro sullo stesso filo, finchè si abbia il bramato effetto; allora è chiaro che questa lunghezza di filo di platino introdotta nel circuito equivale alla colonna liquida; e però la conducibilità del platino e quella del liquido sono tra loro come la ragion diretta delle lunghezze moltiplicata per l'inversa delle sezioni.

La lunghezza del filo di platino è di 132 metri, ed il suo diametro di $\frac{144}{1000}$ di millimetro.

La lunghezza della colonna liquida è di un metro, e il suo diametro di 20 millimetri.

Donde è facile il conchiudere, essere la conducibilità del platino 2546180, cioè due milioni e mezzo di volte maggiore di quella del solfato di rame.

La conducibilità del rame, essendo sei volte e mezzo maggiore di quella del platino, si vede che essa è sedici milioni di volte maggiore di quella della soluzione; e quella del palladio è circa trenta milioni di volte maggiore.

Per paragonare ora gli altri liquidi al solfato di rame, io fo uso dello strumento rappresentato dalla figura 468. Questo è composto da tre tubi cilindrici di vario diametro terminati dalla parte inferiore da turaccioli di rame, e riceventi dalla parte superiore un lungo filo di rame, il quale può scendere più o meno ne' tubi, ove trovasi la soluzione satura di solfato di rame. L'altro liquido è un tubo orizzontale egualmente cilindrico, e di convenienti dimensioni. La corrente si fa passare per la bussola e per lo liquido sul quale si vuol fare l'esperienza: indi si fa passare per la bussola e per quello dei tubi verticali che meglio conviene, facendo scendere il filo di rame fino a che si abbia la stessa declinazione che si è avuta dal liquido; allora non si dovrà far altro se non che paragonare le lunghezze e le sezioni delle colonne sottoposte all'esperienza.

Ecco alcuni risultamenti ottenuti:

Liquidi	Conducibilità
Soluzione satura di solfato di rame	1,0000
Id. allungata in 1 vol. d'acqua	0,6400
Id id. 2 vol. d'acqua	0,4400
Id. id. 4 vol. d'acqua	0,3100
Id. satura di zinco	0,4170
Acqua distillata	0,0025
Id. con $\frac{1}{10000}$ di acido nitrico	0,015

Per lo solfato di zinco il contatto del liquido ha avuto luogo con lo zinco, e per l'acqua col platino.

271. *Ragione tra la intensione delle correnti termo-elettriche e quella delle idro-elettriche.* — Erasi fino ad ora potuto supporre che le correnti termo-elettriche ed idro-elettriche avessero tra loro essenziali differenze procedenti dalla diversa loro origine; ma la medesimezza delle leggi alle quali sono soggette può ora farci giudicare non differir queste in altro fuorchè nella loro intensione.

Un metodo per paragonarle sotto questo punto di veduta non sarà dunque inutile, e noi per recarne un esempio farem conoscer quello che abbiamo adoperato.

Una corrente termo-elettrica generata da un elemento di bismuto e rame dà alla bussola pirometrica un deviamento di 16°; essendo la differenza di temperie delle due saldature di 100°, e la lunghezza totale del circuito equivalente a 50 metri di un filo di rame, che abbia un millimetro di diametro ed una conducibilità di 6,5 per rispetto al filo di platino di 200 metri dell' antecedente sperienza.

Una corrente idro-elettrica generata da una debolissima pila comune di 12 elementi, dà alla stessa bussola un deviamento anche di 16°; ma conviene che la lunghezza totale del circuito equivalga a 180 metri di filo di platino. In questa esperienza si può, siccome abbiam detto, variare a piacimento la lunghezza del filo di platino, per avere lo stesso deviamento; bene inteso che ne' 180 metri è compresa la resistenza della pila, la lunghezza ridotta della bussola, e quella degli altri conduttori.

Queste due correnti della stessa intensione nasceranno da sorgenti che saranno tra loro come le lunghezze dei circuiti, esprimendo queste lunghezze per uno stesso filo.

Ora il diametro del rame essendo 1mm, e la sua conducibilità 6,5, e il diametro del filo di platino essendo 0mm 144 e la sua conducibilità 1: egli è facile l' intendere che 1m di filo di platino equivale a 313m di filo di rame, e che 180m equivalgono per conseguenza a 56340m. Onde il circuito termo-elettrico essendo di 50m ed il circuito idro-elettrico di 56340m dello stesso filo, la sorgente idro-elettrica è uguale a 1127 volte la sorgente termo-elettrica. La pila di 12 copple era, siccome dicemmo, estremamente debole; io credo che avrebbesi potuto renderla 100 volte più vigorosa, e che una vigorosissima pila di 12 coppie possa dare una corrente di una intenzione 100,000 volte maggiore di quella di un elemento di bismuto e rame avente 100° di differenza di temperatura, e per conseguenza 10 milioni di volte maggiore di quella di una corrente prodotta da un elemento di bismuto o rame, le cui saldature abbian solo 1° di differenza di temperatura.

Egli è facile persuadersi questo metodo di confronto potersi applicare ad una pila qualunque, e non essere necessario adoperare un filo di platino più lungo di quello del quale ci siamo serviti; imperciocchè potrebbesi agevolmente la corrente della più energica pila attenuare, facendola passare per colonne liquide di conosciute dimensioni e conducibilità, le quali sarebber poi valutate in lunghezza del filo di platino.

272 *Definizioni della intensione delle correnti, della quantità di elettricità che le costituisce, e della tensione delle sorgenti elettriche.* — Si posson dire correnti della stessa intensione quelle che generano gli stessi deviamenti, operando nella stessa guisa sopra lo stesso ago magnetico: quando dicesi, per esempio, che tutte le parti di un circuito hanno la stessa intensione, altro non si vuole intendere se non che prendendo delle eguali lunghezze sopra queste diverse parti esse producono eguali deviamenti sopra lo stesso ago, quando operano sotto lo stesso angolo ed alla stessa distanza, o generalmente della stessa maniera. Or nelle nostre bussole de' seni, le intensioni in tal modo definite essendo proporzionali ai seni di declinazione, egli è chiaro che una corrente avrà doppia o tripla intensione di un' altra se genererà deviamenti i cui seni sian doppi o tripli.

Quantità di elettricità. Importa ora esaminare quali relazioni passano tra le intensioni delle correnti e le quantità di elettricismo in moto onde queste son formate. Quando l' intensione di una corrente cresce, la quantità di elettricità ch' è in circolazione per formare codesta corrente cresce anch' essa nella ragion medesima? Per risolvere questa quistone si può tener per fermo che la quantità di elettricità che passa per un circuito di un' intensione costante sia proporzionale al tempo, cioè che in 2" ne passi il doppio che in 1", ec., ec. Resta dunque a vedere se riducendo alla metà il tempo durante il quale la corrente passa, riducasi egualmente alla metà la sua azione sul l' ago; imperciocchè se questo si avvererà, si potrà con ragione affermare, la quantità di elettricità essere proporzionale all' effetto elettro-magnetico della corrente ovvero alla sua intensione.

Tra i mezzi che si presentano per ridurre il tempo dell'azione della corrente sull'ago, senza cessare di avere un deviamento che sia lo stesso durante l' azione e l' interruzione, io ho scelto il seguente:

Ho fatto fare diverse ruote dentate metalliche simili a quella dinotata nella figura 469: i denti sono rettangolari, ed i loro intervalli son pieni da denti di legno: in tal modo la circonferenza della ruota è continuata come quella di un disco, ed ha delle superficie conduttrici ed isolanti, le prime tutte eguali fra loro del pari che le seconde; ma la ragione delle une alle altre è diversa nelle diverse ruote,

Nella figura 469 i denti di metallo sono uguali a quelli di legno. Questa ruota tenuta sopra un asse metallico può ricevere un velocissimo moto di rotazione; uno dei poli della pila comunica con l' asse, e l' altro con un filo più o meno lungo che passa sulla bussola della

figura 462 e va a terminare poi in una piccola linguetta *l*, il cui estremo preme un poco verso la circonferenza della ruota; questa linguetta è disposta in guisa da non soffrire alcuna sensibile vibrazione. Quando la ruota sta in quiete e la linguetta tocca un dente metallico, la corrente passa interamente e si può osservare il deviamento ch' essa produce sulla bussola; al contrario quando la linguetta tocca un dente di legno, la corrente non passa e l' ago della bussola torna a zero. Quando il moto della ruota è lentissimo, l' ago oscilla e non si ferma; ma secondo che questo moto si accelera, le vibrazioni diminuiscono di ampiezza, e si giunge ad una certa velocità per la quale l' ago rimane perfettamente fermo; da questo momento aumentando indefinitamente la velocità l' ago rimane tuttavia immobile segnando la stessa declinazione.

In una esperienza, per esempio, il deviamento era di 60° nel tempo in cui la ruota era in quiete; essendo posta in moto, è stato mestieri fare circa 5 giri per ogni minuto per far che l' ago non oscillasse; esso allora segnava un deviamento di 25° 45′, e quando la velocità fu ridotta a 20 giri per ogni secondo, l'ago rimase immobile a 25° 45′; il seno di 60° essendo doppio del seno di 25° 45′, segue che durante il moto l' intensione della corrente è stata ridotta alla metà. Or la ruota portava 120 denti, 60 di legno e 60 di metallo; quando essa faceva 20 giri a secondo, passava nello stesso tempo per 1400. denti; vi era dunque 120 volte passaggio di corrente durante $\frac{1''}{2400}$ e 120 volte interruzione nello stesso tempo. Se durante ciascun contatto si potesse lasciar passare solo la metà della corrente, e trattenere l' altra metà per farla passare durante l' intermittenza, egli è chiaro che si sarebbe avuta una corrente continua formata da una quantità di elettricità, metà di quella che formava l' intera corrente, la quale avrebbe segnato un deviamento di 25° 45′. Donde segue finalmente che la quantità di elettricità che costituisce la corrente è proporzionale all' intensione della medesima; onde le *intensioni* si posson prendere per *misura delle quantità d' elettricità*.

Queste esperienze sono state fatte con ruote nelle quali i denti di legno e di metallo avevan diversa ragione, e con esse si è giunto agli stessi risultamenti; è mestieri soltanto badare che i fili che compongono il circuito non si avvolgano sopra se stessi, imperciocchè attesa la reazione della quale abbiamo parlato (§. 259) si osserveranno allora risultamenti del tutto diversi; ed è questo anche un utilissimo mezzo per esaminare questi singolari fenomeni di reazione, e per conoscere i rovesciamenti delle correnti che in certi casi producono.

L' antecedente proposizione ci mena a conchiudere che una stessa sorgente elettrica può in pari tempo dare diversissime quantità di elettricità, e che queste sono in ragione inversa delle lunghezze dei circuiti che la corrente attraversa, riferendo le lunghezze ad una stessa unità o ad un filo medesimo. E' per fermo, poichè l' intensione di una corrente è ridotta alla metà quando è doppia l' intera lunghezza del circuito, egli è chiaro che la quantità di elettricità che in questo caso passa per lo circuito trovasi ridotta alla metà, perciocchè essa è sempre proporzionale alla intensione della corrente. Le sorgenti elettriche dunque non possono in verun conto essere definite o specificate per la quantità di elettricità che mettono in circolazione, nè per la intensione delle correnti da esse generate; imperocchè cotesti elementi sono essenzialmente variabili, e siccome abbiam veduto, collegati da leggi semplicissime alla natura del circuito per lo quale passano le correnti della sorgente generale.

Tensione delle sorgenti elettriche. Ma un altro elemento per mezzo del quale si possono discernere le sorgenti elettriche, è la *tensione*, della quale procureremo di dare una giusta definizione. Diciamo *sorgenti elettriche di eguale tensione* quelle che nello stesso circuito danno correnti di eguale intensione, ed una sorgente avrà una tensione doppia di un' altra se nello stesso circuito dia una doppia intensione ec. ec.

I principi da noi posti per trasformare un circuito in altro equivalente, ci danno il modo di fare il giusto confronto tra due circuiti di qualunque genere: con tutto ciò ci faremo a dir qualche cosa più specificatamente.

Se prenderemo per esempio in considerazione la sorgente termo-elettrica di bismuto e rame, diremo che la sua tensione cresce in ragion della differenza di temperatura delle due saldature, perciocchè nello stesso circuito si han correnti le cui intensioni sono in ragion diretta di questa differenza.

Se ora ci faremo a considerare una pila idro elettrica comune di un qualunque numero di elementi, la cui resistenza sia per esempio di 100 metri di un filo di rame, e la cui corrente abbia una certa intensione 1, quando si compie il circuito con un simile filo di 20 metri di lunghezza; poi se con aggiungere dell' acido si trova che la resistenza si riduce a 20 metri, e che compiendo il circuito con lo stes-

so filo di 20 metri la sua intensione si trova quadrupla, diremo che la tensione della pila non si è cambiata, quantunque ci apparisca quattro volte maggiore: perciocchè nel primo caso il suo circuito era di 120 metri, nell' atto che nel secondo è di 30: in questo caso dunque ad egual tensione la intensione deve esser quadrupla. Se all' opposto aggiungendo l' acido la resistenza resti la stessa, e se con lo stesso filo aggiunto di 20 metri l' intensione si rende decupla, noi diremo anche la tensione esser decupla, perciocchè decupla è l'intensione con lo stesso circuito.

Coteste considerazioni, sulle quali ci duole di non poterci distendere, son come la chiave di molti fenomeni, i quali se non si riferiscono alle leggi fondamentali che ci siamo ingegnati di rendere aperte, sembreranno inesplicabili.

273. *Sorgente elettrica presa per unità di tensione.* — Poichè le sorgenti elettriche possono essere rigorosamente definite mercè le loro tensioni, è importantissima cosa l' avere una comune unità cui tutti gli osservatori possono riferire i loro risultamenti. Quella che ci è sembrata più acconcia per questo obbietto è la sorgente termo-elettrica di bismuto e rame, della quale discorremmo innanzi (§. 262) e che additammo come atta a poter servire per la misura del magnetismo terrestre.

Per riferire a questa unità la tensione di una sorgente qualunque, basterà trovare le rispettive sensibilità della *bussola terrestre* (*fig.* 422) e di un' altra bussola atta a misurare l' intensione della corrente generata dalla sorgente di cui si vuol conoscere la tensione. Se trattasi, per esempio, della grande bussola della figura 462, la quale può essere adoperata per tutte le correnti idro-elettriche alquanto vigorose, si opera nella seguente guisa: sul telaio della grande bussola si fan passare cento giri di un sottilissimo filo; indi prendendo una corrente qualunque bastantemente indebolita, o per una conveniente lunghezza di un filo di platino di 200 metri, o per alcune colonne liquide, si fa nello stesso tempo passare per la grande bussola e sulla bussola terrestre armata del suo filo di 20 metri, e si osservano i deviamenti che si hanno.

Sia d il deviamento della bussola terrestre e d' quello della grande bussola; la sensibilità s di questa co' suoi 100 giri sarà $s=\frac{\text{sen}\,d}{\text{sen}\,d'}$, prendendo per unità la sensibilità della bussola terrestre co' suoi 20 giri.

Or per un giro della grande bussola la sua sensibilità sarà $\frac{s}{100}$, e per un numero n di giri sarà $\frac{ns}{100}$.

Conosciuto una volta il valore di s, quando si vuole paragonare la tensione di una sorgente a quella che si è presa per unità, sarà mestieri: 1° determinare la lunghezza totale m del circuito onde la corrente di questa sorgente è composta, valutandola per mezzo del filo di rame della bussola terrestre; 2° osservare il deviamento a che la corrente genera sulla grande bussola con un numero n di giri, scegliendo questo numero in guisa che il deviamento sia almeno di 4 o 5 gradi, e non più di 65 o 70.

Il calcolo allora sarà semplice, imperciocchè con una sensibilità conosciuta $\frac{ns}{100}$, l'intensione della corrente essendo sen a, essa sarà $\frac{ns}{100}$ sen a sulla bussola terrestre la cui sensibilità è 1.

La corrente della sorgente che si è presa per unità generando sullo stesso strumento una declinazione d, l' intensione della prima corrente starà a quella della seconda, come $\frac{ns}{100}$ sen a : sen d.

Conoscendo la ragione delle intensioni, basterà moltiplicarla per la ragione delle lunghezze per avere quella delle tensioni, ovvero la tensione t della sorgente, la quale per conseguenza è

$$t=\frac{m}{20}\cdot\frac{100}{ns}\cdot\frac{\text{sen}\,a}{\text{sen}\,d}.$$

274. *Quantità di elettricità necessaria per decomporre un grammo d' acqua.* — Lo strumento del quale ci siam giovati per la decomposizione dell' acqua è dinotato dalle figure 470 e 471: esso è fatto in guisa che i fili di platino saldati al tubo di vetro restino sempre ad egual distanza in tutto il tempo di una esperienza. La campana per ricever l'idrogeno è lunga, stretta, e graduata, affinchè il volume di questo gas possa essere giustamente misurato. A fianco di questo strumento sta un orologio, per mezzo del quale si misura la precisa durata dell' esperienza, dal tempo in cui si apre il circuito fino al momento in cui si ottiene quel volume d'idrogeno che si vuole.

Questo volume è stato di 2 centimetri cubici per le lente decomposizioni, e di 6, 8 o 10 centimetri cubici per le rapide; ma tutte queste esperienze sono state sempre riferite a due centimetri cubici.

Si opera nel seguente modo :

Con esperienze preparatorie si determina la resistenza della pila, quella del liquido sottoposto alla decomposizione, e quella degli altri conduttori. Questa totale resistenza si esprime in lunghezza del filo di rame della grande bussola de' seni (*fig.* 462), la quale è uno strumento molto acconcio per queste ricerche. Cotal resistenza una volta conosciuta, si potrà egualmente conoscere la totale lunghezza del circuito; ciò fatto s' interrompono le comunicazioni per riempire le campane di liquido, si rimettono al loro sito i fili di platino, e s' incomincia a misurare il tempo dal momento in cui sono riaperte le comunicazioni; si osserva similmente la declinazione della bussola la quale rimane costante, e si lascia procedere l' esperienza fino a che non siasi ottenuto il conveniente volume d' idrogeno.

La tavola seguente contiene una serie di esperienze di questa natura :

NUMERI dell' esperienze.	NATURA del LIQUIDO	METALLO de' poli		NUMERI de' secondi necessari per ottenere due cent. cubici d' idrogeno.	DEVIAMENTO dell' ago della bussola.	SENI del deviamento ovvero intensione.	PRODOTTO della intensione per lo tempo.
		Polo posit.	Polo negat.				
		Platino	Platino	498″	5°50′	0,1016	50,60
1	Acqua distillata con acido solforico.			510	5 40	0,0987	50,34
2		id.	id.				
2	Liqu. precedente allung. in un vol. di acqua distillata.	id.	id.	725	4 »	0,0697	50,53
4		id.	id.	728	4 »	0,0697	50,74
5		id.	id.	919	3 10	0,0552	50,73
6	Acqua comune con acido solforico.	id.	id.	417	6 50	0,1190	49,62
7		id.	id.	423	5 45	0,1175	49,70
8		Rame	id.	251	11 20	0,1965	49,32
9		id.	id.	247	11 30	0,1994	49,25
10		id.	id.	247	11 30	0,1994	49,25
11		Zinco	id.	239	12 »	0,2080	49,71
12		id.	id.	258	11 »	0,1908	49,22
13		Plat.	id.	684	4 10	0,0724	49,50
14	Acido solforico allungato.	id.	id.	77	40 »	0,6428	49,50

La terza colonna di questa tavola indica la natura del metallo che forma il polo positivo al quale si deve ridurre l'ossigeno proveniente dalla decomposizione; cotesta indicazione è importante, imperciocchè accade che, *tutte le condizioni restando le stesse*, se al platino del polo positivo si sostituisca una lamina di rame o di zinco, la corrente prenderà tosto una intensione molto più grande; per lo zinco l' anzidetta intensione divien tripla sia qualunque la intensione primitiva. Questo notevolissimo fenomeno non deriva dall' azione chimica che lo zinco soffre, ma da altre cagioni, la conoscenza delle quali spargerà certamente novella luce sulla comunicazione dell' elettricità.

La settima colonna intanto fa vedere come ad onta di questa singolare azione, il prodotto del tempo per la intensione della corrente è sempre un numero costante; o in altri termini che la quantità d' idrogeno renduta libera è

sempre proporzionale alla intensione della corrente; o che questa intensione proceda dalla forza della pila, o dalla conducibilità del liquido sottoposto all' esperienza, o da qualsivoglia circostanza.

Or essendo l' intensione della corrente proporzionale, siccome dicemmo innanzi, alla quantità di elettricità che passa, ne segue che la quantità d' idrogeno sviluppato sia anche proporzionale alla quantità di elettricità che interviene anche alla decomposizione dello stesso, e finalmente ch' è necessaria sempre la stessa quantità di elettricità per decomporre un grammo d' acqua.

Ci resta ora a trovar quale sia questa quantità di elettricità; il che agevolissimo riesce dopo i principi che noi abbiamo fermati.

E per verità, scegliendo per esempio le due prime osservazioni dell' antecedente tabella, l' esperienza ha fatto conoscere, esser la lunghezza totale del circuito equivalente a 5679 metri di filo di rame di un millimetro di diametro, cioè 5531 metri per la resistenza del liquido sottoposto alla decomposizione, e 148 metri per quella della pila e del filo della bussola.

Si è d' altronde osservato che l' intensione di questa corrente era 2.665 per rispetto alla corrente di 20 metri della sorgente termo-elettrica.

Onde la quantità di elettricità che passa nell' acqua acidulata per operare la decomposizione e per dare i due centrimetri cubici d'idrogeno in 500", è 2665 volte la quantità che passa nello stesso tempo per l' elemento di bismuto e rame preso per unità.

Vedesi parimente, la tensione della pila che ingenera la decomposizione essere

$$2,665\times\frac{2679}{20}=756,72.$$

Un grammo d' acqua contenendo 1241^{cc},61 d' idrogeno, si vede che per operare la decomposizione di un grammo d' acqua è mestieri di una quantità di elettricità espressa da

1651,455,

cioè più di 1600 volte quella che passa durante il tempo di 506" per la sorgente scelta per unità; e se si prende il minuto per unità di tempo, si vede finalmente la quantità di elettricità necessaria per decomporre un grammo d' acqua essere 13787.

Laonde sia che un grammo d' acqua appartenga ad un liquido buono o cattivo conduttore, sia che venga decomposto da una pila molto vigorosa o molto debole, converrà sempre per separarne gli elementi una quantità di elettricità eguale a 13787 volte la quantità di elettricità che passa in un minuto per un circuito di bismuto e rame, la cui lunghezza totale sia equivalente a 20 metri di un filo di rame di un millimetro di diametro, e le cui saldature abbiano una differenza di temperatura di 100°.

CAPO VII.

ELETTRO-CHIMICA.

Sonomi studiato di riunire in questo capo tutte quelle azioni chimiche che sonomi sembrate appartenere essenzialmente alla fisica per le loro intime attenenze co' fenomeni elettrici della pila. Tra i fenomeni di questo genere ce n' ha di quelli che possono essere ridotti a principi generali ben fermati e de'quali la scienza può giustamente far tesoro; ma ce n' ha eziandio di quelli, e sono i più, pe'quali è mestieri far ricorso a spiegazioni che ti lasciano a desiderare una maggiore evidenza. Il disegno di quest'Opera non mi ha sempre permesso di entrare in particolari discussioni, spesso mi è stato forza attenermi a' soli fatti, adoperandomi ad esporli in modo chiaro e preciso. Se talvolta mi è intervenuto di non poter reputare come soddisfacenti alcune spiegazioni che sono state proposte e sono generalmente accettate, o pure di tacere de' fatti che non ancora sonomi sembrati fermi e sicuri, mi confido che i dubbi del mio animo sopra un subbietto così delicato, non abbiano ad essere malamente interpretati dagli abili fisici, cui la quistione potrà più direttamente riguardare, e pe' lavori de' quali io nutro stima grandissima.

Questo capo sarà diviso in quattro paragrafi:

§ 1°. Scomposizioni chimiche generate dalle correnti elettriche.

§ 2°. Azioni lente cagionate dalla elettricità.

§ 3°. Descrizione delle varie generazioni di pile voltaiche, e disamina delle azioni chimiche ch' esse patiscono.

§ 4°. Varie applicazioni dell'elettricità voltaica.

§ 1°. *Scomposizioni chimiche generate dalle correnti elettriche.*

275. Abbiamo già fatto conoscere (§ 220) lo strumento del quale generalmente si fa uso per la scomposizione dell' acqua (*fig.* 343); i suoi due fili di platino essendo messi in comunicazione l' uno col polo positivo e l' altro col polo negativo della pila, l' acqua è scomposta, empiendosi di ossigeno la campana cor-

rispondente al polo positivo e d'idrogeno quella del polo negativo. Cotesto strumento si addimanda *voltametro* (1); esso può essere variamente ordinato; la forma dinotata nelle figure 470 e 471 e altrove descritta (§ 274) è molto comoda.

Intanto nelle mie ricerche ultime, ho adottata a preferenza la disposizione indicata dalla fig. 20, tav. 23; gli apparecchi *h*, *y*, *z*, interamente di vetro, servono a mettere le campane al loro luogo, e toglierle, quando contengono de' liquidi che non si possono toccare con le dita.

Il Faraday ha proposto di denominare *elettrodi* i fili del voltametro, e generalmente i conduttori che comunicano da una parte con la pila e dall' altra col corpo sul quale la corrente esercita delle azioni chimiche. Tale denominazione opportunamente scelta è stata ricevuta; e però in tutte le azioni chimiche della pila dovrem sempre avere i due elettrodi, *l' elettrodo positivo* (2), e *l' elettrodo negativo* (3), i quali potranno essere di qualunque materia deferente. La natura degli elettrodi ha generalmente una doppia efficacia, l' una sulla intensione stessa della corrente siccome abbiamo già innanzi fermato, l' altra sulla natura de' composti chimici che si possono formare.

I fisici sembrano anche disposti a ricevere la voce *elettrolito* la quale appartiene come l' antecedente alla nomenclatura del Faraday; *elettrolito* significa *corpo che si può scomporre dalla corrente elettrica*; e similmente *elettrolizzazione* (4), scomposizione; fenomeni elettrolitici, fenomeni che appartengono alla scomposizione; ec.

Scomposizione dell' acqua. L' acqua pura non può essere scomposta se non che da vigorose batterie; ma la presenza di una picciolissima quantità di un acido, di un alcali o di un sale, rende l' acqua molto più facile ad essere scomposta con lo stesso apparecchio; dal che si è creduto potersi inferire che la lentissima scomposizione dell' acqua più pura potrebbe forse derivare dall'aria o da altre particelle straniere che trovansi nella medesima in soluzione. Lo scioglimento di siffatta quistione non è di grave importanza nelle presenti condizioni della scienza, e così pure non è di alcuna importanza il sapere se l' acqua perfettamente pura si possa dire o no perfettamente atta ad essere dalla corrente elettrica scomposta.

Parlando della scomposizione dell' acqua la supporremo sempre acidolata o alcalina; si suole porre nel voltametro di prova dell'acqua mista ad $\frac{1}{100}$ e fino ad $\frac{1}{10}$ di acido solforico comune; in questi casi l' acqua sola è scomposta, e l' acido non mai, e si raccoglie un volume d' ossigeno al polo positivo e due d'idrogeno al negativo.

Quando gli elettrodi sono di platino il metallo non è in modo sensibile attaccato; alcuni fisici son di credere ch' esso sia in parte ossidato, ma non pare che sia ancora stato possibile di raccogliere una quantità ponderabile di quest' ossido per riconoscerlo, sia mercè l' analisi, sia mercè le sue proprietà.

Quando l' elettrodo positivo si combina agevolmente con l' ossigeno, sotto la doppia efficacia dell' elettricità e del mezzo ambiente, l' ossigeno entrando tutto in combinazione, non se ne svolge alcuna bolla dall' elettrodo; allora possono varî e diversi fenomeni intervenire: se l' ossido è solubile nell' elettrolito o nel bagno, esso si scioglie secondo che si forma, per comporre un sale di cui esso è l' acido o la base; se esso è insolubile e conduttore, diverrà esso stesso elettrodo e l' azione sarà continuata, ma generalmente una parte dell' ossigeno si svolge in bolle mentre l' altra continua ad ossidare l' elettrodo primitivo; se finalmente l'ossido sia insolubile e cattivo conduttore l' elettrolisi tosto si sospenderà interamente, se non si usino delle correnti molto vigorose le quali lo stacchino in ragione che si forma; in questo caso l' ossigeno è eziandio svolto in parte in bolle e si genera una precipitazione.

Come prima l' ossido è entrato in combinazione per formare un sale, se questo sia insolubile, tosto sarà precipitato; ma se sia solubile soffrirà quasi sempre una scomposizione, ed allora i fenomeni elettrolitici somigliano quelli de' quali dovremo tra poco discorrere: senza entrare molto addentro ne' particolari sul proposito, dobbiamo citare qualche esempio: nell' acqua acidolata con l' acido solforico, se si eccettui l' oro ed il platino, e certamente tutti que' metalli che sono nella stessa categoria chimica, tutti gli altri metalli si ossidano al polo positivo gli uni con svolgimento di ossigeno allo stato aeriforme e gli altri no; nella maggior parte cotesto svolgimento scema con la intensità della pila o piuttosto con la rapidità della scomposizione; ed è da credere

(1) Più spesso *voltàimetro* e talora *voltagometro*
(2) Detto anche *anodo*.
(3) Detto anche *catodo*.
(4) O forse meglio per noi *elettrolisi*.

che studiando con diligenza i solfati che si formano si troverebbero de' nuovi sotto-solfati insolubili.

Simili fenomeni si osservano nell'acqua acidolata con acido azotico o altri acidi ossigenati.

Nell'acqua acidolata con l'acido cloroidrico, e suoi analoghi i fenomeni sono perfettamente diversi, perocchè gli acidi stessi sono scomposti insieme con l'acqua ed in ragione che questa è più acidolata.

Nell' acqua renduta alcalina mercè la soda o la potassa, i fenomeni sono anche diversi, perocchè spesso formansi varî ossidi alcuni de' quali si combinano con l' alcali ed altri si precipitano.

Diversi sono eziandio i fenomeni nell'acqua renduta alcalina con l' ammoniaca è scomposta per fino dalle correnti molto deboli.

Poche ricerche precise ed ordinate sonosi fatte sul proposito, da render possibile nelle presenti condizioni della scienza, il fermare de' principî secondo i quali coteste operazioni si compiono: e pure siffatte ricerche sarebbero di molta importanza per la scienza.

Quando l' elettrodo negativo si può combinare con l' idrogeno, allora questo o non si svolge in istato aeriforme o solo parzialmente.

Prendendo per esempio degli ossidi per elettrodo negativo, questi saranno generalmente ridotti.

E quando il bagno è di natura tale che l' idrogeno si possa combinare con alcuno de' suoi elementi, allora cotesta combinazione si avvera: questo interviene adoperando l'acqua acidolata con l' acido azotico ancorchè contenga un cinquantesimo ed anche un centesimo di acido; una parte dell'idrogeno che risulta dalla scomposizione dell'acqua opera sull'acido azotico per trasformarlo in acido ipoazotico. Il che è chiaro non solo per lo colore della soluzione, ma eziandio dal vedere che il volume d'idrogeno non è più doppio di quello dell' ossigeno. Potrebbesi veramente supporre che in questo caso vi sia scomposizione ad un tempo dell' acqua e dell' acido; ma io mi penso che la cosa non sia in alcun modo probabile.

276. ***Legge del Faraday sugli equivalenti elettrochimici.***—Il Faraday che ha fatto tante belle scoperte in elettro-magnetismo ed in chimica dovea fermare la legge fondamentale dell' elettrolisi o scomposizione elettro-chimica. Cotesta legge può essere espressa così:

Quando una stessa corrente attraversa successivamente molti elettroliti diversi, i pesi degli elementi ch' essa separa in tutti questi elettroliti sono tra loro come gli equivalenti chimici di questi elementi.

Proccurando di fare intendere questa legge, indicheremo l'esperienze sulle quali si adagia e le quistioni che ne dipendono.

1°. ***Acqua acidolata ed alcalina.*** Supponiam da prima che siensi messi l' un presso l' altro quanti voltametri si vogliano ne'quali sia sempre l' acqua che debba essere scomposta, ma alcuni con acqua molto debolmente acida o alcalina ed altri per contro con acqua fortemente acida o alcalina, in guisa che esponendo l' un dopo l' altro ciascun voltametro separatamente all'azione della stessa corrente se ne abbiano delle diversissime quantità di gas. Quando tutti saranno in pari tempo attraversati dalla stessa corrente, le quantità di gas saranno in tutti perfettamente eguali. Se una delle campane conterrà per esempio 10 centimetri cubici di ossigeno, tutte le altre campane di ossigeno ne avranno anche 10 centimetri cubici, e tutte quelle corrispondenti agli elettrodi negativi conterranno 20 centimetri cubici d' idrogeno.

Lo stesso risultamento osservasi anche se, secondo di sopra è detto, l' uno de' gas sia in parte o in tutto assorbito dal suo elettrodo; vale a dire che il gas dell' altro elettrodo che non ha patito alcuno assorbimento si trova di avere lo stesso volume che negli altri voltametri.

Per la qual cosa se entrambi i gas di un voltametro fossero assorbiti o forse meglio entrassero in combinazione co' loro respettivi elettrodi, non è a dubitare che i volumi combinati non fossero respettivamente eguali a' volumi raccolti ne' voltametri ove lo svolgimento è stato totale.

Da questo primo esempio s' intende che se sopra tutti i punti de' varî conduttori pe' quali la stessa corrente passa, essa è sempre identica a se medesima per rispetto agli effetti fisici ch' essa può generare, siccome altrove fu avvertito (§ 254), cotesta corrente si mostra del pari identica a se stessa per rispetto agli effetti chimici, almeno quando le azioni chimiche si avverano sopra elettroliti che debbono dare gli stessi elementi, quantunque con facilità diversissima, essendo gli uni di agevole e gli altri di difficilissima scomposizione.

È questo il luogo di ricordare le sperienze che abbiamo riferite (§ 274) e la conclusione che ne abbiamo ricavata. L' esempio dei voltametri successivi dimostra che la stessa corrente non può scomporre diverse quantità di acqua; ma non ci assicura che la quantità di acqua scomposta sia proporzionale alla intensità della corrente, e niente ci dice sulla quantità assoluta di elettricità necessaria a generare

un effetto chimico dato. Le nostre sperienze hanno avuto per obbietto di risolvere queste due quistioni importanti.

2°. *Soluzioni saline*. Supponiamo ora che i nostri voltametri successivi contengano delle soluzioni saline, come per esempio di solfato di rame, di azotato d'argento, di acetato di piombo, ec.; conserviamo intanto un primo voltametro o *voltametro tipo* contenente acqua acidolata con $\frac{1}{10}$ o $\frac{1}{20}$ di acido solforico.

In questo l'acqua è scomposta; negli altri si raccoglie ossigeno all'elettrodo positivo e del metallo ravvivato all'elettrodo negativo (supponiamo per maggiore semplicità che tutti gli elettrodi siano di platino). Or quando l'operazione è terminata si osserverà in prima che tutti gli elettroliti han dato lo stesso volume di ossigeno, il quale si misura con precisione, e dal suo volume, facendovi le necessarie correzioni se ne ricava il peso. Si tolgan quindi gli elettrodi negativi, se ne separino le lamine di platino sulle quali sonosi formati i depositi metallici; si lavano, si asciugano e si pesano con diligenza, indi si tolgono i depositi o meccanicamente o chimicamente e si pesano di nuovo per avere finalmente il peso del metallo depositato. Per tal modo si trova che il peso dell'ossigeno sta al peso de' varî metalli, come 100 equivalente dell'ossigeno sta a' rispettivi equivalenti de' medesimi metalli.

S'intende che io intendo qui esclusivamente di parlare del caso in cui l'azione elettrolitica che si esercita sulla soluzione salina dia del metallo repristinato all'elettrodo negativo, senza sviluppo alcuno d'idrogeno, e senza alcuna formazione di ossido: or avviene che il manganese, il ferro, il cobalto ed il nickel scompongono l'acqua, più o meno rapidamente, a misura che essi si depositano al polo negativo; lo stesso zinco scompone sensibilmente. Coteste osservazioni ci menano a supporre, che nella scomposizione dei sali di soda, di potassa, di calce, di barite, ec, è il metallo quello che è primamente depositato sul filo negativo, e che solo per una azione secondaria essa scompone l'acqua per generar l'idrogeno. Per confermare ciò, basta, in fatto, scomporre questi sali prendendo il mercurio per elettrodo negativo (*fig. 25, tav. 23*); veggonsi allora formarsi i mescugli alla superficie del mercurio, e molto dopo che la pila è cessata dall'operare, questa superficie sviluppa tuttavia delle bollicine d'idrogeno, il che conferma la presenza del metallo combinato col mercurio.

Che se interviene che un metallo con due diversi gradi di ossidazione possa formare due sali entrambi solubili, e di dare anche per l'azione della corrente del metallo repristinato all'elettrodo negativo, ma solo del metallo senza ossido e senza idrogeno, egli è chiaro che allora bisognerà che o i pesi metallici de' due depositi siano diversi o che le quantità d'ossigeno siano esse stesse differenti, ma questa circostanza non deroga la legge generale di cui si è detto.

3°. *Metalloidi ossigenati e metalli ossigenati*. Quando in vece di esporre all'azione della corrente delle soluzioni allungate nelle quali l'acqua sola è scomposta, si prendono degli acidi concentrati affinchè possano essere essi stessi scomposti, si generano de' fenomeni molto intrigati i quali finora non sono stati ben messi in disamina. Gli acidi effettivamente si scompongono, ma si scompone eziandio l'acqua ch'essi contengono, ed in vece di avere una separazione netta dell'ossigeno e del radicale dell'acido, si hanno de' prodotti secondari diversi, tra i quali è difficile il dire quali appartengono all'azione primitiva. Nessun metalloide è stato in tal modo raccolto per mettere a prova la legge del Faraday.

Intendesi che qui v'ha luogo ad interpetrazioni: se prendesi per esempio la serie azotica, e se suppongasi per un momento che si giunga a separare realmente il radicale dall'ossigeno ne' composti ad uno, due, tre, quattro o cinque equivalenti di ossigeno, egli è assolutamente impossibile che in ogni voltametro s'abbia ad un tempo un equivalente di azoto da una parte ed un equivalente di ossigeno dall'altra: è mestieri che un'elemento faccia la legge e gli altri la segnano: se sia il corpo elettro-negativo che fa la legge, vi sarà per tutto un equivalente di ossigeno ed un quinto di equivalente di azoto per l'acido azotico, un quarto per l'acido ipoazotico, ec.; se sia l'azoto, si avrà per contro da per tutto un equivalente di azoto e cinque, quattro, tre, due, ec. ec. equivalenti di ossigeno. Ciocchè la legge di Faraday riman dubbio è appunto quale sia in tali congiunture l'elemento che serve di regola, e se si abbia sul proposito una regola generale, cioè se sia sempre l'elemento elettro-positivo o l'elemento elettro-negativo che fa la regola, o pure sia or l'uno or l'altro a seconda dei casi.

Quello che diciamo de' metalloidi si applica egualmente a' metalli ossigenati; e qui si tro-

vano anche degli ostacoli non ancora superati per separar direttamente il metallo dall'ossigeno; in modo da fermare per rispetto a cotesti corpi come la legge dell'elettrolisi debba essere interpretata, quando formano combinazioni multiplici.

Ci ha per altro un corpo il quale pare più acconcio degli altri alle ricerche di questo genere ed è *l'acqua ossigenata*. Edm. Becquerel ha fatto alcuni saggi sul proposito; egli ha provato che l' idrogeno si combina in parte con l'ossigeno dell' acqua ossigenata per riprodurre acqua; ma giudicando dal volume dell' ossigeno raccolto sull' elettrodo positivo gli è sembrato che il voltametro dell' acqua ossigenata desse due equivalenti di ossigeno per un solo equivalente del voltametro tipo.

4.° *Cloruri, bromuri, joduri*, ec. Supponghiamo da prima che il circuito elettrolitico sia composto del voltametro tipo e di due altri l'uno di acido cloroidrico concentrato, l'altro di una soluzione concentrata di cloruro di potassio o di sodio: si troverà che solo l' acido cloroidrico è scomposto perchè l' idrogeno comparisce all'elettrodo negativo, e non si ha svolgimento di gas all' elettrodo positivo; il cloro è semplicemente disciolto, perocchè non si forma alcuna combinazione di cloro e di ossigeno. Se l' acido cloroidrico fosse meno concentrato e la corrente più energica, si avrebbe un mescuglio di cloro e di ossigeno all' elettrodo positivo; il voltametro di cloruro di sodio presenterà perfettamente gli stessi fenomeni. Ora ne' tre voltametri le quantità d' idrogeno sono eguali: d' onde segue che ad un equivalente di ossigeno corrisponde un equivalente di cloro. L'idrogeno che si svolge all' elettrodo negativo del cloruro di sodio è il prodotto secondario dell'azione del sodio sull' acqua.

I cloruri multipli essendo di elettrolisi più facile degli ossidi multipli, egli era importante di sottoporli all' esperienza per riconoscere se la legge dell' elettrolisi dovesse riferirsi al radicale o al cloro; il che il Matteucci ha fatto per il primo: egli ha mostrato che il protocloruro di rame $Cu^2\,Cl$ ed il bicloruro $CuCl$ danno entrambi un equivalente di cloro per un equivalente di ossigeno, perocchè il protocloruro dà *due equivalenti* di rame, nell'atto che il bicloruro ne dà *un solo*. La sola conseguenza che se ne può inferire è che in questo caso il cloro e l'elemento elettro negativo dà la legge al rame o all'elemento elettro positivo. Edm. Becquerel ha confermato questi risultamenti del Matteucci e gli ha estesi ai cloruri di ferro, di stagno e di antimonio.

Pare che simili risultamenti si abbiano dagli joduri e da' bromuri.

5° *Acidi idrati e sali alcalini*. Le sperienze che sono state fatte sopra questi corpi da parecchi fisici, e specialmente da Daniell e Miller non ancora mi sembrano interamente decisive nè in se stesse nè per le loro attenenze con la legge dell' elettrolisi, e però non credo necessario di metterne in disamina i risultamenti.

6° *Conclusione*. La legge enunciata dal Faraday e da lui stesso per alcuni casi renduta aperta e pienamente rifermata per un piccol numero di corpi e per la serie delle combinazioni nelle quali essi entrano come componenti; ma dal sunto brevissimo che abbiam fatto de' fenomeni più importanti e meglio fermati per rispetto a questa legge, si può giudicare di tutto ciò che resta a fare per renderla generale e capace di essere applicata a tutte le combinazioni chimiche.

277. *Legge della disuguaglianza del potere chimico dei poli*. — I due poli della pila non esercitano chimicamente azioni eguali per separare gli elementi dei corpi composti; così, quando, per esempio, si ottengono due equivalenti d' ossigeno al polo positivo, e due equivalenti d' idrogeno al polo negativo, non devesi ammettere, come sin' ora si è fatto, che il polo positivo abbia, per parte sua, sviluppato un equivalente d' ossigeno, ed inviato al polo negativo un equivalente d' idrogeno, e che, dal canto suo, il polo negativo, esercitando un eguale potere, abbia sviluppato, con sua propria azione, un' equivalente d' idrogeno, ed inviato al polo positivo un equivalente d' ossigeno. Io ho mostrato (*Comptes Rendus de l' Acad. des Sciences*, *maggio* 1845) quanto importa il determinare quale sia l' azione relativa di ciascun polo, e, nel tempo stesso, ho fatto conoscere taluni risultamenti molto caratteristici. Dopo aver tentato parecchi strumenti per queste ricerche, mi son determinato per quello rappresentato dalle figure 21 e 22. Si compone esso di cannelli ad *u*, di circa 1 decimetro d' altezza, ed 1 centimetro di diametro; quando i liquidi sono molto cattivi conduttori, è necessario dare a questi tubi lo stesso diametro da per tutto (*fig.* 22); allora le sperienze sono meno esatte. Per contrario, quando i liquidi sono molto buoni conduttori, la parte inferiore, che forma l' unione de' due rami, è uno stretto cannello d'un diametro di un millimetro in circa (*fig.*21). Pertanto ecco in qual modo si sperimenta: poniamo che tre cannelli simili sieno l' uno dopo l' altro disposti, nel

modo come la fig. 21 lo indica, avvertendo che i fili di platino, che servono da elettrodi rimangano immersi per tutta la lunghezza del cannello; cotesti cannelli son pieni dello stesso liquido, di cloruro d' oro, per esempio; inoltre si pone nel circuito un voltametro ordinario (*fig.* 20.) per raccorre, nelle campane graduate, l'ossigeno e l'idrogeno che si sviluppano.

Non sì tosto, che le comunicazioni con la pila sonosi stabilite, che i gas si mostrano alle campane del voltametro, ma, ne'cannelli, vedesi soltanto depositarsi l'oro su i fili negativi; dopo qualche istante, comparisce il cloro su i fili positivi, e si sviluppa; ma nessuna traccia d'idrogeno appare al filo negativo, nè alcuna d'ossigeno al polo positivo, il che è una prova manifesta, essersi il cloro scomposto. Quando le campane del voltametro indicano essersi già formati, per esempio, 10 centimetri cubici d'ossigeno, si osserva che tutti i rami negativi de' cannelli di cloruro d'oro, sono meno colorati dei positivi; e se prendesi uno di essi, per fare separatamente il saggio chimico del liquido di ciascun ramo, si renderà certi quello del ramo positivo contener tanto cloruro d'oro, per quanto ve n'era sul principio della sperienza, mentre quello del ramo negativo ne ha perduto una quantità precisamente eguale al peso dell'oro depositato sul filo negativo. Laonde il polo negativo è stato il solo efficace a produrre la scomposizione. Continuando l'operazione su i due rimanenti cannelli, viensi a conoscere essere il filo negativo, esclusivamente, quello che è efficace sino al completo esaurimento del cloruro d'oro contenuto nel ramo negativo, senza che il ramo positivo abbia nulla perduto della proporzione di cloruro, che esso conteneva in principio; solo, in sul finire dell'operazione, avviene talvolta che l'idrogeno si mostri al polo negativo, il che annunzia la scomposizione dell'acqua, e parmi che tale scomposizione debba essere attribuita eziandio all'efficacia del polo negativo, anzi che a quella del polo positivo.

Possiam dunque conchiudere, nella scomposizione del cloruro d'oro, il potere scomponente essere esclusivo del polo negativo.

Questa medesima conclusione conviene ai cloruri di rame, di nickel, di cobalto, di zinco, ec.

Diversi sono i fenomeni in ordine ai cloruri alcalini: il polo negativo, senza essere esclusivamente efficace, è tuttavia predominante pel cloruro di magnesio; ma il contrario ha luogo pe' cloruri di potassio, di soda, di bario, ec. Qui è il polo negativo quello che diviene predominante, a tal segno che il cloruro scomposto dal filo negativo è appena il quarto di quello scomposto dal filo positivo. Pel cloruro di calcio il paragone è più difficile, per cagione d'un considerevole assorbimento di cloro, che avviene al polo positivo, per formare, senza dubbio, un bicloruro.

Io avevo incominciato cotesta serie di sperienze con gli strumenti rappresentati dalle fig. 21 e 27. Il primo è fatto di due cannelli dritti, terminati nelle loro parti inferiori da un piccolo, e sottil diaframma di terra cotta porosa, lutato con luto marino su gli orli del cannello; il secondo ha un sol diaframma ad uno degli estremi del cannello sifone, che stabilisce la comunicazione de' due vasi. Ma il *trasporto meccanico* di liquido che ha luogo in cotesti apparecchi si oppone all'esatto confronto del potere relativo de' poli. In generale, il cannello positivo perde una parte del suo liquido con profitto del vase intermedio, il quale, a sua posta, ne cede al tubo negativo.

Questo trasporto meccanico, o, se pur voglia dirsi, questa maniera d'*endosmosi*, si effettua con tanta energia, che il cannello positivo completamente si vuota; come avviene, per esempio, con una soluzione poco concentrata di potassa, quand'anche i due cannelli ed il vase di mezzo contengano da principio lo stesso liquido.

277 *bis*. *Poli multiplici*. Dolendomi di non poter qui dare più ampie spiegazioni alle ricerche da me fatte, sulle azioni chimiche della pila, debbo far motto ancora d'un fatto che ho rifermato, e che non è senza importanza per la spiegazione teorica di questi fenomeni intricati; è desso il seguente: un liquido diventa esso pure un elettrodo, rispetto agli altri liquidi coi quali è in contatto, il che dà origine a poli multipli ne' liquidi assoggettati all'azione della corrente. Ne citerò un solo esempio. Poniamo che il cannello 1 (*fig.* 23) sia stato, mercè convenienti precauzioni, ripieno di due liquidi sopprapposti, in *a*; al di sopra di questa superficie di separazione si trova acqua pura, ed al di sotto, parimente che in tutto il ramo negativo, evvi un cloruro densissimo qual sarebbe, per esempio, il cloruro di zinco. Non sì tosto si fa passare una corrente di conveniente tensione, che già lo zinco si deposita sul filo negativo; nessun che si sviluppa sul filo positivo, e, dopo brevi istante, l'azione diviene di più in più viva, e si viene ad accertarsi contener l'acqua una più o meno considerevole proporzione d'acido cloroidrico. Il cloro dunque che dalla scom-

posizione del cloruro risulta è giunto sino alla superficie di separazione *a*, ed ivi si è combinato con l'idrogeno risultante dalla scomposizione dell'acqua, in guisa che la colonna d'acqua ha fatto da polo positivo rispetto al cloruro della colonna di questo liquido, e da polo negativo rispetto all'acqua.

Cotesta conclusione diviene ancor più manifesta, quando le comunicazioni sono stabilite in ordine inverso, come vedesi nel cannello 2 (*fig.* 23); imperciocchè alla superficie di separazione *a* si forma una falda di ossido di zinco grossa a sufficienza; e se, quando si è già formata, s'inverte l'ordine delle comunicazioni, si vede scomparirla a poco a poco; si può quindi riprodurla e distruggerla parecchie fiate di seguito.

Il cannello 3 della figura 23 rappresenta la stessa sperienza col cloruro di ferro. Le apparenze sono alcun poco diverse, poichè l'ossido di ferro si forma un pò al di sopra della superficie di separazione, e presenta parecchie particolarità degne di distinzione, per i moti singolari che si manifestano.

La figura 26 è finalmente un altro esempio di multiplicità di poli. Sul diaframma poroso si depositano alquante particelle metalliche, che formano sull'istante un doppio polo, sul quale le ramificazioni metalliche si sviluppano con sorprendente rapidità; io ho veduto talvolta, e sopratutto pe' sali di cadmio, che esse s'accrescono in lunghezza per più d'un centimetro per secondo, e non si richiede che un istante perchè si propaghino sino al filo positivo.

277 *ter. Scomposizione degli alcali.* — Sopra una lamina di palatino che comunichi col polo positivo della pila si pone una grossa lamina di potassa alquanto umida, indi si tocca verso il suo mezzo con un grosso filo di platino che comunichi col polo negativo; nel passar della corrente si vedrà intorno a questo filo una moltitudine di globetti metallici i quali tosto spariscono bruciando con luce assai viva: questo metallo è il potassio; esso perchè troppo combustibile non può reggere all'aria in masse alquanto grandi. Volendo raccoglierlo, si scava una fossetta nel mezzo della lamina di potassa ed entro vi si versa una grossa goccia di mercurio la quale diventa l'elettrodo negativo quando vi s'immerge il filo di platino; allora il potassio ripristinato forma un amalgama col mercurio dal quale poscia si separa distillandola sotto l'olio di nafta entro un cannello ricurvo chiuso dopo di averne estratta l'aria.

Non usando il mercurio è mestieri che la pila sia molto poderosa per osservare in modo sensibile l'elettrolisi della potassa; ma con la goccia di mercurio il potassio si ha anche molto presto con pile non molto energiche.

Il sodio si ottiene anche dalla soda un poco umida; il bario dall'idrato di barite ridotto in pasta sul mercurio; e similmente ricavasi il litio, lo strontio, il magnesio ed il calcio.

277 *quater. Soluzioni alcooliche.*—Abbiamo già molte sperienze sopra gli effetti che le molte poderose batterie possono generare sull'alcool assoluto in cui siano sciolti degli alcali o dei sali. Ma i composti molto diversi ed intricati che in tali congiunture si formano, non ancora sonosi studiati con diligenza bastante a dar ragione di tutte le reazioni; tra questi composti noi citeremo solo il carbonato di potassa ed una materia resinosa che si hanno al polo positivo con una soluzione di potassa nell'alcool.

278. *Passività del ferro.* — Erasi da gran tempo osservato che il ferro in certi casi diventa *passivo*, ossia che in contatto con gli acidi ossigenati e specialmente con l'acido azotico anche concentrato esso conserva il suo splendore, non soffre alcuna azione, e si comporta infine come il platino. Scoenbein ha richiamata l'attenzione de' fisici sopra questi singolari fenomeni; egli ha preso a studiarli di nuovo con sagacia e perseveranza meritevoli di elogio. Io posso appena esporre una picciolissima parte delle curiose sperienze di Schoenbein: e ciò facendo mi trovo molto impicciato; perocchè in un argomento sì nuovo, trattandosi di azioni le cui cagioni sono tanto ascose e gli effetti tanto impreveduti, si corre rischio di errare intorno al valore de' fatti, di trascurare i più essenziali e di dar risalto a' meno importanti. Sarebbe mestieri almeno poter enumerare tutte le condizioni nelle quali il ferro assuma la passività e tutte quelle nelle quali può assumerla; ma al presente questa semplice numerazione mi menerebbe per le lunghe, perocchè non ancora si è giunto a trovare de' caratteri generali ben decisi e distinti. Ecco per altro le sperienze che mi sembrano più degne da notare: io le ricavo dalle due ultime memorie di Schoenbein sul proposito. (*Archives de l'électricité*, 1842, t. II, pag. 267, e 1843, t. III, pag. 81).

Si fa uso di una pila semplice ciascun reoforo della quale va a metter capo in una tazza di mercurio; ciascuna di queste tazze è messa in comunicazione con *l'elettrolito* mercè un filo o nastro metallico, di modo che uno di questi fili fa da elettrodo positivo e l'altro da elettrodo negativo. Per elettrolito Schoenbein

adopera 11 volumi di acqua ed un volume di acido solforico messi in un bicchiere di vetro, e questo è ciocchè chiama il *truogolo di scomposizione* (*l'auge de décomposition*). L'elettrodo negativo è un filo di platino, l'elettrodo positivo un filo di ferro comune; se questo chiude il circuito e lo chiude toccando l'acqua e non il mercurio, il ferro diventa passivo, esso non si ossida e quello ch'è più non si ha idrogeno al polo negativo.

Il ferro torna attivo e solo per alcuni minuti secondi, 1° quando è stato per un momento toccato nel liquido con l'elettrodo negativo; 2° quando la corrente si è per un momento interrotta per tosto ricominciare; 3° quando il ferro si fa toccare nel liquido con un pezzo di metallo ossidabile, zinco, stagno, rame, argento; 4° quando dalla corrente si è fatta una forte derivazione, immergendo nelle due tazze di mercurio un filo di rame di alcuni centimetri di lunghezza che si toglie immediatamente dopo; 5° finalmente quando si agita velocemente la parte del ferro che sta immersa nel liquido.

Se invece di chiudere il circuito col contatto del ferro e dell'ettrolito, lo si chiude in altra maniera, il ferro è dapprima e per alcuni istanti attivo, quindi torna ad esser passivo.

Se frattanto il ferro è passivo si facciano varie osservazioni aprendo una comunicazione permanente tra le due tazze di mercurio, si osserveranno fenomeni diversi secondo la intensità di questa corrente derivata; se essa è molto intensa, nessun effetto genera sul ferro; se è meno intensa, rende il ferro attivo in modo permanente; ad una intensità più picciola il suo effetto rendesi un'altra volta nullo; pur non di meno prima ch'essa diventi debolissima da non potere più operare, si osserva un singolare fenomeno, ed è che il ferro soffre dei periodi alternativi di passività e di attività che si rinnovano per molte fiate, cotesti periodi sono di breve durata estendendosi appena ad alcuni minuti secondi. Nell'apparecchio di Schoenbein il ferro avea un'attività permanente, quando la derivazione tra le due tazze di mercurio era fatta con un filo di rame di mezza linea di grossezza; avente una lunghezza non minore di 6 pollici e non maggiore di 16 piedi.

I fenomeni de' quali di sopra è detto e che hannosi con gli acidi ossigenati non si mostrano in alcun modo con gl'idracidi o coi sali aloidi.

Un altro modo di render passivo un filo di ferro consiste nell'adoperarlo come elettrodo positivo di una pila di forza media, e di farlo operare così sopra una soluzione di acetato di piombo nella quale s'immerga per la lunghezza di un centimetro durante 3" di tempo. Cotesto filo tolto è lavato con acqua e interamente passivo per l'esperienze di sopra descritte, anche quando una parte del filo immerso non sia stata coperta di perossido di piombo; e le congiunture nelle quali il solito filo di ferro rendesi attivo, in questo son nulle. V'ha anche di più, esso dà agli ordinari fili di ferro una passività che non avrebbero. Così quando esso va come elettrodo positivo dalla tazza di mercurio al truogolo di scomposizione, il circuito non essendo chiuso, se si pongano accanto ad esso molti fili andando del pari dal mercurio all'acqua, tutti questi fili saranno passivi quando si chinderà il circuito, e pure secondo quello che si è detto, senza quel filo che ha un velo leggiero di perossidio di piombo, essi sarebbero stati per un momento attivi.

Nelle memorie di di Schoenbein si troveranno le ingegnose spiegazioni che egli propone per dar ragione di questi fatti e di altri dello stesso genere.

279. *Polarizzazione elettrica.* — Si è dato questo nome, che non mi sembra molto opportuno, ad alcuni fenomeni che presentano i metalli e specialmente il platino dopo di aver fatto l'uffizio o di *elettrodi diretti* o di *elettrodi indiretti*.

Quando due lamine di platino sono state adoperate come elettriche per scomporre l'acqua solo per qualche momento, e poi si trasportino in un altro vase contenente dell'acqua conduttrice, se fuori del vase si congiungano ai fili del galvanometro, si osserverà una corrente più o meno intensa la quale distinguesi per due qualità le quali sono di esser diretta per verso contrario alla prima, e di durare per un tempo molto considerevole.

Il Becquerel ha dato ragione del fenomeno riferendone la cagione agli elementi onde le lamine si caricano durante l'azione elettrolitica, prendendo l'una l'elemento acido e l'altra l'elemento alcalino, se hanno operato sopra una soluzione salina, o pure prendendo l'una l'ossigeno l'altra l'idrogeno, se hanno operato sopra l'acqua acidulata.

Se in una vaschetta di una certa lunghezza una o più lamine di platino s'interpongano, in modo che la corrente debba attraversarle, osservasi che questa interposizione di un corpo molto meglio conduttore dell'acqua indebolisce la corrente in modo molto sensibile. Cotesto fenomeno rientra nell'antecedente: qui ciascuna lamina deve operare come elettrodo indiretto, l'una delle sue facce cioè deve

far da elettrodo positivo e l'altra da elettrodo negativo; allora i gas aderenti di cui le facce si coprono, diminuiscono la conducibilità in una ragion più grande secondo il numero delle lamine, ed anche secondo la intensità primitiva della corrente.

280. *Azione della corrente sopra molte soluzioni.*— Prendo dalla recente opera di Becquerel (*Traité de Physique*, 1844, t. II, p. 330) le sperienze relative a questo genere di azione.

» Per ben conoscere, egli dice, l'azione di una corrente che attraversi successivamente molte soluzioni si opera nel modo che segue.

» Si prendono tre ciotole di porcellana che comunichino tra loro mercè cannelli di vetro pieni di argilla umida. Poniamo dell'acqua nei due vasi estremi ed una soluzione di cloruro di sodio in quello di mezzo; facendo comunicare i due vasi estremi co' poli di una pila di 30 coppie, tosto il cloro si mostra al polo positivo e l'alcali al polo negativo. La scomposizione si è avverata quantunque le lamine non erano in contatto immediato con la soluzione salina. Gli stessi effetti sarebbonsi avuti se la soluzione fosse stata posta nelle tazze estreme ponendo dell'acqua in quella di mezzo. Il trasporto degli elementi si esegue con tale efficacia, che spesso essi attraversano de' mezzi nei quali trovansi de' corpi co' quali hanno molta affinità, senza punto arrestarsi. Se nella tazza positiva ponsi acqua pura, in quella di mezzo una soluzione di ammoniaca, e nella tazza negativa una soluzione di solfato di potassa, la potassa resta in questa tazza e l'acido è trasportato nella tazza negativa, quantunque abbia attraversata una soluzione di ammoniaca con la quale ha molta affinità. Ma non interviene lo stesso quando l'acido o l'alcali incontrano nel loro passaggio un corpo col quale possono formare un composto insolubile, e quando la pila non ha forza bastante a vincere le affinità che uniscono gli elementi di questo. In tal caso la combinazione si esegue ed il corpo primitivamente trasportato finisce di far parte del circuito; questo appunto avverasi quando la tazza di mezzo contiene un sale a base di barite, e la capsula negativa una soluzione di un solfato. L'acido solforico attraversando la soluzione baritica, scompone il sale e forma un solfato di barite che si precipita. La legge da noi espressa è generale, ma è mestieri non dimenticare che il solfato si forma soltanto se la pila non dia una corrente tanto intensa da separare gli elementi del composto insolubile. Alcuni esempi faranno conoscere le condizioni necessarie affinchè le scomposizioni abbian luogo. Prendiamo due cannelli di vetro chiusi con argilla purissima a' loro estremi inferiori, affinchè la soluzione posta in ciascuno di essi non possa uscirne, ed immergiamoli per metà in un vase pieno di acqua; il primo cannello pieno di una soluzione di nitrato di rame comunichi col polo positivo da una parte; il secondo pieno di acqua acidolata sia similmente in comunicazione col polo negativo, l'acqua sola è scomposta, il nitrato di rame non lo è, perocchè l'ossido di rame non trova per via nel recarsi sulla lamina negativa, elementi co' quali possa formare composti solubili. Con una pila più vigorosa di questa con la quale supponiamo essersi l'anzidetto effetto ottenuto, il nitrato di rame sarebbe stato scomposto. Sostituendo al nitratato di rame un nitrato alcalino, la scomposizione difficilmente si avvera. Se nel cannello negativo si versi una soluzione di solfato di rame e nel positivo una soluzione di nitrato di potassa, l'acqua sarà scomposta e l'acido nitrico resterà isolato. La potassa recandosi nel cannello negativo reagisce sul solfato di rame, scaccia una parte dell'ossido di rame il quale è ridotto mercè l'azione riunita della corrente e dell'idrogeno proveniente dalla scomposizione dell'acqua, e forma un doppio solfato di rame e di potassa, il quale, a cagione della sua poca solubilità, cristallizza tosto sulle pareti del cannello. Fino a che resta ancora solfato di rame da scomporsi, ed una sufficiente quantità di nitrato di potassa nel cannello positivo, l'acido solforico non è trasportato in questo. Noi abbiamo parlato di questi fenomeni nella teorica delle scomposizioni.

» Se nel cannello positivo, si ponga una soluzione di nitrato di potassa la cui argilla intermedia sia umida, e nel negativo un miscuglio a parti eguali di una soluzione di nitrato e di un'altra di solfato di rame, questi due sali saranno scomposti ma successivamente ed in tempi molto diversi. V' ha riduzione del rame sulla lamina; la potassa passa nel cannello negativo ed ivi si combina con una porzione dell'acido solforico. L'acido nitrico divien libero nel cannello positivo, e nessun reattivo può far conoscere la presenza dell'acido solforico libero; il che dimostra che il nitrato di potassa da una parte, e quello di rame dall'altra, sono stati scomposti con trasporto dei loro elementi ai poli rispettivi, nell'atto che il solfato di rame per l'azione riunita della corrente e della potassa è stato egualmente scomposto, ma senza trasporto dell'acido al polo positivo, perocchè si è formato come nel caso antecedente un doppio solfato.

» Ci resta solo ad indicare un' altra importante congiuntura per rispetto all'azione di correnti molto deboli. Supponiamo dell'acqua nel cannello positivo, un solfato alcalino nel negativo, e l'argilla umida di una soluzione di nitrato di potassa, il solfato sarà scomposto; attraversando l'argilla l'acido solforico reagisce sul nitrato di potassa, scaccia l'acido nitrico del cannello positivo, nell'atto che l'acido solforico si combina con la potassa. Cotesti effetti si avverano solo con correnti di piccola forza. Siffatte considerazioni debbono esser presenti a chiunque di proposito voglia versarsi nello studio dell'elettrochimica ».

Egli è vero che queste sperienze sono stimate come perfettamente giuste, ma io mi penso che non siasi posto ben mente al principio ch'esse stabiliscano; cioè che gli elementi separati dall'azione elettrica possono ricevere un moto di trasferimento a grandi distanze, principio il quale non mi sembra essere di accordo con tutt' i fatti ben fermati. Le mie sperienze per contro stabiliscono, che un simile trasporto non ha mai luogo, ma che, sia pel disuguale potere dei poli, sia per la formazione de' poli multipli, si formano ne' liquidi intermedii de' corpi composti, che formano una maniera di catena continua, i cui anelli sono incessantemente disfatti e rifatti; e con queste scomposizioni e ricomposizioni successive, gli elementi son trasportati, come nelle scomposizioni ordinarie. Laonde, lungi dal maravigliarsi che un alcali trasporti un acido, o reciprocamente, converrà maravigliarsi all' opposto che un acido attraversasse un corpo pel quale non avrebbe affinità, poichè, secondo la teoria che qui accenno, e che svilupperò in altro lavoro, il trasporto può aver luogo precisamente ed esclusivamente per la combinazione anzichè, come fin' ora si è ammesso, per una maniera di moto meccanico di traslazione.

280 *bis*. *Scomposizione mercè l'elettricità delle macchine*. — Questa importante sperienza fu fatta da Wollaston. In un cannello di vetro simile a quello di un termometro e chiuso da un estremo, s' introduce un filo sottile di oro o di platino, in modo che il suo estremo penetra nel vetro ammollito all' estremo chiuso; quando s'è introdotto fin presso ad uscire dalla parte opposta della parete, con molta diligenza si consuma il vetro fino a che con la lente si scopra la punta del filo metallico. S'immergono allora nell' acqua due di questi cannelli ponendo di rincontro le due punte metalliche; il filo del primo cannello si fa comunicare con la macchina elettrica e quello del secondo col suolo. Dando moto alla macchina tosto sulle punte metalliche si generano e si svolgono delle bollicine gassose: pare che in alcune congiunture i gas siano separati correndo l'ossigeno verso la punta positiva e l'idrogeno verso la punta negativa, ma più spesso questi gas svolgonsi insieme sulla stessa punta.

§ 2. *Azioni lente generale dall' elettricità.*

281. *Albero di Saturno*. — Forse non v'ha chi non conosca questa antica e notevole esperienza conosciuta col nome di albero di Saturno; essa si fa in questo modo: si empie una boccia di una soluzione molto limpida di acetato di piombo; dopo di aver preparato un grosso turacciolo di sughero che possa perfettamente chiuderne l'orifizio, s' introducono in questo quattro o cinque grossi fili di ottone i quali si avvicinano in fascio entrando pel collo, ma entrati poi, per la loro elasticità si allontanano formando nel liquido una maniera di cono divergente che discende fin presso al fondo. All'origine di questi fili e verso il sughero, mercè fili di ottone flessibili si lega un pezzo di zinco, il quale comunica con tutt' i rami del cono e che deve essere immerso nel liquido. Ciò posto si luta con tal diligenza l'orifizio ed il turacciolo da impedire all' aria di entrare nella boccia ed in pari tempo al liquido di svaporare: dopo qualche giorno si comincia a vedere de' filetti di piombo cristallizzato i quali aderiscono a fili di ottone da prima verso la parte di sopra; questa operazione continua per mesi; le laminette di piombo molto vive e brillanti, si estendono sempre più acquistando parecchi centimetri di superficie ed incrociandosi in mille guise per ogni verso.

Qui si ha una vera coppia voltaica; lo zinco si ossida e comunica all'ottone l'elettricità negativa, che l'ossidazione gli dà, siccome interviene nella coppia di Smee che appresso descriveremo; l'idrogeno viene dunque a perdere sopra questo polo l'elettricità positiva, che ha preso al momento in cui si è separato dall' ossigeno; ed allo stato nascente, esso disossida il piombo che lentamente si deposita cristallizzandosi; l' acido acetico allora è diventato libero per formare un equivalente di acetato di zinco, in luogo di un equivalente di acetato di piombo scomposto.

281 *bis*. *Conservazione del rivestimento di rame delle navi*. — Si osserva in certe con-

giunture, il rame che fodera le navi corrodersi e distruggersi con grande prestezza; Davy supponendo che quest' azione chimica molto più rapida, che il rame talvolta patisce nell' acqua di mare, provenisse da un' azione elettrica particolare, fu indotto a cercare delle azioni elettriche opposte per neutralizzarne gli effetti. Dopo di avere esposto delle lamine di rame in vasi pieni di acqua di mare, e fatti comunicare questi vasi tra loro, o mercè fili di rame, o per mezzo di sifoni pieni di acqua, tentò di mettere in contatto del rame del primo vase, un metallo ossidabile come lo zinco, il ferro, il ferro fuso, ec. per vedere se questi metalli difendessero il rame, e fino a qual punto. L'esperienza rispose conforme il Davy avea previsto, il metallo ossidabile distruggevasi, ma il rame era rispettato fino a grande distanza dal punto di contatto del metallo preservatore.

Le sperienze pratiche intanto fatte sopra parecchi grandi vascelli inglesi, senza contraddire alla teorica, non ebbero tutto il successo che se ne sperava. Il rame era generalmente troppo conservato, vale a dire esso diventava polo troppo positivo, nella coppia che formava con lo zinco, o col ferro fuso. Per la qual cosa gli ossidi di calce, di magnesia, ec. tosto appannavano lo splendore metallico del rame e si deponevano sopra di esso in falde sì grosse da fissarvi le erbe, le conchiglie, ec; di modo che la nave era conservata, ma a scapito del suo pregio il più essenziale, perocchè essa diventava pesante e difficile al moto.

282. *Corpi semplici, ossidi, ec. avuti dal Becquerel.* — Il Becquerel pel primo ha con ordine studiato le azioni lente dell' elettricità, e con raro successo le ha applicate tanto ad isolare dei corpi semplici, che non mai eransi potuti co' metodi elettrici ottenere, quanto a formare degli ossidi cristallizzati o altri corpi più composti simili a quelli che ci si offrono in natura. Ci adopereremo, mercè alcuni esempii di dare in breve un' idea del suo metodo e dei suoi principali risultamenti.

Silicio. — Si empie un piccol fiasco d' una soluzione di acqua salata; nel turacciolo che lo deve chiudere si fanno entrare due cannelli di tre o quattro millimetri di diametro; i loro estremi son coperti da un pannolino sul quale si pone dell' argilla umidita con acqua salata, avente la grossezza di circa un centimetro. In uno di questi cannelli si versa una soluzione saturata di silice gelatinosa nell' acido cloroidrico del commercio, il quale contiene un poco di ferro; si versa nell' altro una soluzione di acqua salata; allora il turacciolo si pone sull' orifizio del fiasco, in modo che i due cannelli co' loro estremi inferiori peschino nella soluzione, che il fiasco contiene. Ciò posto, s' immerge una lamina di platino nel cannello con la soluzione di silice, ed una lamina di zinco in quello con la soluzione di sale, indi si fanno comunicare tra loro queste lamine mediante un filo metallico. Dopo qualche tempo la lamina di platino si copre di laminette brillanti che sono un siliciuro di ferro, e l' azione una volta cominciata per l' intervento del ferro, la presenza del quale è necessaria, continua in modo che la lamina di platino si trova alla fine coperta di silicio in iscaglie brillanti, le quali fino a che la corrente continua conservano tutto il loro splendore.

Becquerel ha nella stessa guisa avuto l' alluminio, il zirconio, il magnesio, ed è probabile che questo stesso metodo si potrebbe applicare agli altri metalli alcalini i quali alla temperatura dell' ambiente non hanno forte azione sull' acqua.

Ossido di rame. — In un cannello chiuso da una parte si pone del deutossido di rame, e sopra di questo si versa una soluzione satura di azotato di rame; in questo mescuglio si dispone una lamina di rame molto lunga una parte della quale tocca il deutossido, e l' altra la soluzione; indi il cannello si chiude alla lucerna per abbandonarlo a se stesso. Dopo qualche tempo si veggono apparire sulla lamina di rame de' piccoli cristalli brillanti in forma di ottaedri e di color rosso cupo; questo è il protossido di rame cristallizzato.

Idrato di calce. — Nelle due branche di un cannello ricurvo a forma di *v* il cui estremo inferiore è pieno di argilla umida, si versi dell' acqua della Senna: a dritta ed a sinistra s' immerga una lamina di platino, e si faccia passare la corrente di una quindicina di elementi: dopo un certo tempo la branca negativa, dà la reazione alcalina, e quindi la calce idrata si manifesta in cristalli regolari.

Cloruri di rame e di argento. — L' argento in contatto con l' antracite o col carbone fa nascere notabili reazioni nell' acido idroclorico: il pezzetto di carbone si ferma sulla lamina di argento mercè un filo dello stesso metallo, indi s' introduce in un cannello contenente dell' acido cloroidrico. Questo cannello non deve esser chiuso, altrimenti scoppierebbe per la tensione de' gas che si svolgono: esso è solamente ristretto da poter dare uscita a codesti gas, senza dar luogo ad una soverchia evaporazione. Dopo alcuni mesi il cloruro di argento cristallizzato apparisce sulla lamina di argento e si conosce ch' esso si svolge du-

rante l' operazione dall' idrogeno carbonato formato dal contatto dell' idrogeno nascente e del carbone.

Nello stesso modo si ha il cloruro di rame.

Carbonato doppio di rame e di soda. — In uno de' rami di un cannello curvato ad u, si versa una soluzione di bicarbonato di soda. e nell' altro una soluzione di solfato di rame: esse son separate al solito dall' argilla umida. Due lamine di rame comunicanti tra loro sono immerse una a destra e l'altra a sinistra: dopo un certo tempo nella soluzione di soda si veggono de' belli aghi di color verde turchiniccio: questo è il carbonato doppio di soda e di rame.

§ 3. *Descrizione delle pile voltaiche di vari sistemi e disamina delle azioni chimiche che esse patiscono.*

Dopo di aver cercato di esporre, per quanto le presenti condizioni della scienza il permetteno, le azioni chimiche generate dalle correnti elettriche, e lo svolgimento di elettricità derivato dalle azioni chimiche, proccurerò di dare in poche parole la descrizione delle varie pile immaginate in questi ultimi tempi, e d' indicare le principali ricerche che restano a fare per dar ragione in modo soddisfacente dei fenomeni elettrici e chimici che esse presentano.

Parlerò successivamente delle pile ad un solo liquido e delle pile a due liquidi.

Pile da un solo liquido.

283. *Pila di Smée.* — L' elemento della pila di Smée è espresso dalle figure 485 e 486, tav. 22. La figura 485 ne rappresenta il prospetto e la figura 486 il profilo; esso è composto di una larga lamina *p* di *platino platinato* che trovasi tra due lamine *z* di *zinco amalgamato*, la cui larghezza supera solo poco più di un terzo quella del platino. Questa lamina di platino è stretta col suo orlo superiore tra due regoli di legno *rr*, i cui prolungamenti si adagiano sugli orli del vaso di vetro o porcellana in cui trovasi l' elemento e servono a sostenerla; le parti superiori delle lamine di zinco si stringono verso i regoli di legno, la cui grossezza perciò determina la distanza che passar deve tra le lamine di zinco e quella di platino.

Si usa generalmente la proporzione di 7 di acqua ed uno di acido solforico nel comporre il liquido in cui deve essere immerso l' elemento. Negli elementi a grandi dimensioni come quello ch' è rappresentato nelle figure, la lamina di platino ha 200^{mm} di altezza e 130^{mm} di larghezza; lo zinco 180 di altezza, 35 di larghezza; in questo caso la lamina di platino va sostenuta negli altri tre lati di una cornice di legno.

Una pinzetta metallica la quale preme i due orli superiori delle lamine di zinco verso i regoli di legno, porta il *filo negativo*, ed una simile pinzetta la quale preme la lamina di platino porta il *filo positivo*.

Quando la comunicazione non è aperta tra i fili l' acido solforico del liquido non opera sensibilmente sullo zinco amalgamato, perocchè non si osserva svolgimento d' idrogeno; ma tosto che i fili o direttamente, o mercè conduttori metallici o liquidi comunicano tra loro, l' azione diventa più o meno viva in ragione della natura e delle dimensioni di tali conduttori; l' idrogeno abbondantemente si svolge sulla superficie del platino; lo zinco si ossida e si trasforma in solfato che cade in fondo del vase.

Ci ha dunque qui tre azioni chimiche, cioè 1° scomposizione dell' acqua; 2° ossidazione dello zinco; 3° combinazione dell' ossido di zinco con l' acido solforico. Supponiamo da prima che queste azioni siano successive: l' acqua essendo scomposta, l' ossigeno è elettrizzato negativamente e l' idrogeno positivamente. Poniam per un momento che l' ossigeno si riduca quasi allo stato naturale in toccando la lamina di zinco, questa sarà allora elettrizzata negativamente, nell' atto che l' ossigeno stesso e la molecola di zinco ch' esso ossida, ridotti sensibilmente allo stato naturale, si caricheranno per questa combinazione, il primo di elettricità positiva ed il secondo di elettricità negativa. Ma queste elettricità uguali e contrarie non potranno svolgersi in corrente, perocchè sarebbe mestieri ch' esse potessero passare isolatamente ne' conduttori metallici, e non si vede come ciò possa intervenire. Dicasi lo stesso delle elettricità uguali ed opposte che risultano dall' azione dell' acido solforico dell' ossido di zinco. Laonde i due fluidi svolti dalle azioni secondarie son costretti a ricomporsi direttamente tra loro, e la corrente deve esser generata solo da' fluidi svolti dall' *azione primitiva*, cioè dalla scomposizione dell' acqua.

Resta ora a sapersi perchè l' elettricità positiva dell' idrogeno apparisce sulla lamina di platino: si può dire che nel momento in cui si apre il circuito, l' elettricità negativa onde le lamine di zinco son cariche pel fatto della prima ossidazione, passa immediatamente pel filo o pe' conduttori sulla lamina di platino la quale trovandosi così elettrizzata negativa-

mente, attrae le molecole d' idrogeno che son caricate di elettricità positiva.

Se i fenomeni avvengono realmente in questo modo, la pila di Smée saggiata al condensatore non deve comportarsi come certe pile a due liquidi in cui si avvera una doppia azione; e questo infatti ho con l'esperienza rifermato.

Pare poi cosa sicura che l' elettricità risultante dalla scomposizione dell'acqua sia la sola che generi la corrente nella pila di Smée; ecco una serie di esperienze di Boquillon e Silberman che direttamente rendono aperto quello che affermiamo. Questi due sperimentatori han disposto un grande elemento alla Smée in modo da raccogliere perfettamente tutto l' idrogeno che si svolge sulla lamina di platino; ogni operazione è stata prolungata per un tempo bastante da poter raccogliere 7 o 8 litri d' idrogeno e spesso anche 17 o 18 litri. Nello stesso tempo il filo positivo dell'elemento giungeva ad una lamina di rame immersa in un bagno di solfato di rame, nell' atto che il filo negativo giungeva ad uno stampo metallico immerso nella stessa soluzione di rincontro alla lamina di rame. Aperte le comunicazioni l' elemento alla Smée pativa le azioni delle quali abbiamo parlato, nell' atto che nel bagno di solfato di rame lo stampo del polo negativo riceveva rame ravvivato ed il rame del polo positivo si corrodeva e si trasformava in solfato di rame per mantenere satura la soluzione. Nel bagno di solfato di rame non appariva alcuna bolla di gas nè al polo positivo, nè al polo negativo. Alla fine di ogni operazione l' idrogeno raccolto sul platino del l' elemento era misurato con diligenza: dal volume misurato se ne ricavava il peso facendo le debite correzioni di pressione di temperatura e di umidità; pesavasi egualmente la forma per dedurne il peso corrispondente del rame depositato; indi questo dividevasi pel primo per averne la ragione. Più di trenta operazioni di questo genere han dato per siffatta ragione de' numeri molto vicini; la media è di 31,66, il numero più grande è 32,88 il più piccolo di 30,20. Moltiplicando il numero 31,66 per l' equivalente dell' idrogeno 12,50, si ha 395,76 per l' equivalente del rame, pel quale le analisi chimiche le più accurate danno 395,69.

Osserveremo in prima che coteste sperienze sono tanto più concludenti in quanto esse sono fatte sopra mas e sufficienti; quando nelle sperienze di questo genere si ha che fare con milligrammi, si passa sempre pericolo di cadere in errori i quali sono dell' ordine de' numeri che si paragonano.

Osserveremo ancora che esse conducono a due importanti conseguenze: 1° che nella pila di Smée l' elettricità che si svolge in corrente deriva esclusivamente dall' acqua scomposta, e contiene assolutamente tutt' i fluidi elettrici provenienti da siffatta scomposizione; 2° che l' equivalente del rame contenuto nel solfato richiede per repristinarsi tanta elettricità negativa per quanta ne svolge l' equivalente d' idrogeno nel combinarsi con l' ossigeno, come di sopra è detto.

Debbo ora additare perchè torni utile ad *amalgamare lo zinco* ed a *platinare il platino*. Quando lo zinco non è amalgamato esso è direttamente attaccato dagli acidi anche quando sono diluiti in molta quantità di acqua; l' idrogeno allora si svolge sulla superficie stessa dello zinco. Che se ne fa dell' elettricità positiva di cui esso è necessariamente carico nel separarsi dall' ossigeno ? È questo un punto sul quale è permesso ancora di serbare qualche dubbio; almeno per me non conosco alcuna esperienza la quale sciolga la quistione in un modo deciso. Parmi per altro assai probabile che i fenomeni avvengano nel modo generalmente ricevuto per vero, vale a dire che sulla stessa superficie dello zinco si formino varie coppie, ossia che alcuni punti meno disposti ad ossidarsi divengan poli ove corre l' idrogeno e fanno perciò le veci della lamina di platino dell' elemento che descriviamo; allora la comunicazione tra il polo negativo o il punto ossidato ed il polo positivo o il punto che non lo è si stabilisce per l' interno stesso della massa dello zinco. E per fermo ci pare impossibile che gli atomi d' idrogeno, ancorchè allo stato nascente, cedano al liquido cattivo conduttore in cui si trovano la totalità dell' elettricità positiva onde son carichi nel momento della loro separazione; se essi la cedono questo liquido dovrà essere positivo al condensatore, se non la cedeno si debbono svolgere con elettricità positiva sensibile al condensatore; ma se essi vanno a perderla sopra alcuni punti dello zinco il condensatore non dovrà ricevere niente nè dallo zinco, nè dal liquido, nè dalle bolle d' idrogeno.

In ogni caso la falda di mercurio amalgamandosi con lo zinco, cangia questa disposizione; lo zinco siccome abbiam veduto finisce di essere direttamente capace di essere attaccato ed acquista questa proprietà quando lo zinco ed il platino comunicano tra loro mercè un conveniente conduttore; ora nel momento in cui si apre questa comunicazione, lo zinco diventa in certo modo più ossidabile di quello che era prima di essere amalgamato. Per dar

ragione di cotesti fenomeni restano ancora delle ricerche da farsi, specialmente per vedere se il contatto del mercurio con lo zinco che ha sciolto modifichi fino ad un certo punto le affinità chimiche.

Kemp è stato il primo a far conoscere l'utile che poteasi ricavare dallo zinco amalgamato nel comporre gli apparecchi voltaici (*Giornale di Jameson*, dicembre 1828; Smée, *Electro-Metallurgy*, 1841 p. 12).

L'uffizio del *platino platinato* par che s'intenda meglio con le nozioni teoriche. È un fatto che il platino secondo lo stato in cui si trova ha la proprietà di coprirsi più o meno facilmente di un velo gassoso che impedisce il contatto immediato del liquido e quindi degli elementi gassosi che vanno alla superficie di esso che fa l'uffizio di elettrodo positivo o negativo. Ma il platino platinato, vuoi per la scabrosità, vuoi per qualsiasi altra ragione, pare meno acconcio a ritenere questo velo gassoso, e però esso opera come corpo miglior conduttore, e dà maggior forza alla corrente.

Questo deposito di platino nero sulle lamine di platino, che forma appunto il platino platinato, si ha immergendo le lamine di platino ben forbite in una soluzione di doppio cloruro di potassio e di platino, mettendole in comunicazione col polo negativo di una pila piuttosto debole; coll'immergere il filo positivo nella soluzione, il platino si deposita. Se il polo positivo fosse anch'esso una lamina di platino, questa sarebbe attaccata dal cloro e la soluzione si manterrebbe sempre satura.

Avea Smée pensato di adoperare le lamine di rame inargentato (*plaqué*) ed indi platinarle, ma il forbito dell'argento trovasi poco opportuno per questa operazione, e non dà buoni risultamenti. Boquillon ha per questo immaginato un importante perfezionamento: ei comincia dal prendere una sottile lamina di rame di quelle che sono in commercio, sopra di questa fa deporre del rame in modo che la superficie ne risulti scabra e rugosa; con una seconda operazione copre questo deposito con un altro simile di argento, e sopra questo secondo deposito finalmente fa depositare il platino polverulento ed attaccato all'argento, il quale dà alla lamina la proprietà in grado eminente di svolger liberamente l'idrogeno.

Egli è da credere che con le lamine di Boquillon le quali sono più efficaci di quelle di Smée si potrebbe aumentare un poco la ragione delle lamine di zinco per rispetto a quelle di platino platinato.

Pila comune alla Wollaston. — Da quello che abbiam detto sulla pila di Smée s'intende quello che intervenir deve nella pila alla Wollaston; le azioni chimiche ed elettriche sono le stesse, con questa sola differenza che lo zinco non essendo amalgamato, l'azion chimica ha luogo eziandio quando i due poli non comunicano tra loro; per la qual cosa vi ha inutile consumo di acido e di metallo. Egli è anche probabile che il rapido indebolimento che la pila di Wollaston patisce dipenda da questa ragione più che dall'indebolimento degli acidi. Si eviterebbe certamente una parte di questi inconvenienti usando lo zinco amalgamato; ma non pare che il rame possa essere efficace quanto il platino platinato nello svolgere l'idrogeno: Vi sarebbero delle importanti ricerche a fare sulle vere cagioni del presto infievolirsi della corrente nelle pile di questo genere.

Pila di Young. — La figura 491 rappresenta la disposizione immaginata da James Young per comporre delle batterie di un gran numero di elementi i quali occupano poco spazio. (*Phil. mag.*, 1837 t. X, p. 241.) *p* è l'insieme o la pila in azione; *p'* rappresenta al contrario, sopra una scala più grande, i dettagli della costruzione: vi si vede la lamina di zinco tal quale deve essere tagliata, con l'appendice *a* che si salda ad una simile appendice della lamina di rame allo stesso modo tagliata; solamente nell'unirle la striscia *b* che unisce le due parti di una lamina va messa sempre da un lato per lo zinco e dall'altra pel rame. In tal modo il zinco trovasi tra due lamine di rame, ed ogni lamina di rame tra due di zinco. Quindi segue come nella pila di Smée che lo zinco essendo attaccato si carica di elettricità negativa, la quale si comunica pel metallo al rame cui è saldato; per la qual cosa nello stesso tempo tutte le lamine di zinco e tutte le lamine di rame sono caricate di elettricità negativa, onde l'idrogeno che è carico di elettricità positiva trova a piccola distanza una superficie negativa che l'attira e sul quale viene a svolgersi dopo di avervi deposta l'elettricità positiva. In questa generazione di pile è mestieri che gli elementi di zinco siano attaccati con la stessa efficacia, appunto perchè le due lamine di rame che ne circondano una di zinco non ricevono da esso l'elettricità negativa che deve neutralizzare l'elettricità positiva dell'idrogeno che questo zinco ha renduta libera.

Pila di Munch. — La figura 492 rappresenta l'ordinamento di una pila anche più semplice di quella di Young; essa è di più facile costruzione ed ha gli stessi pregi. Cinquanta elementi di questa pila occupano appena 3

decimètri di lunghezza; poche aste di legno bastano per tenerli riuniti, ed un trogolo di legno a mastice per contenere il liquido in cui debbono essere immersi. Questa pila è comodosissima; essa ha poco peso e poco volume, ed i suoi effetti sono forti e durevoli. Ponendo mente ad amalgamare lo zinco (il che riesce per la forma molto agevole), questa disposizione ideata da Munch di Strasburgo sembrami la più utile quando si vogliono riunire molti elementi.

Elemento alla Sturgeon. — La figura 490 rappresenta un elemento analogo a quello di Smée immaginato da Sturgeon; esso è composto da un vase cilindrico di ferro fuso di 250 millimetri di altezza e di 76 millimetri di diametro; si riempie di un liquido composto di 8 parti di acqua ed una di acido solforico; in questo si pone un cilindro o lamina di zinco amalgamato in modo che si appoggi sopra un piccolo disco di legno. I fenomeni qui sono perfettamente gli stessi che nella pila di Smée. L'idrogeno si svolge in abbondanza sulla parete interna del vase di ferro fuso; el pare che la corrente sia più intensa quando questa parete sia ossidata; il che può essere o perchè l'idrogeno riduce quest' ossido, quando vi è, o perchè più agevolmente si svolge sulle molecole e sulle scabrosità del ferro repristinato. Una pila di 8 o 10 elementi è atta a generare effetti considerevoli.

Elemento di Wheatstone. — Questo elemento è rappresentato nella figura 496; esso è composto di un vase poroso di argilla rossa cotto a metà, il quale si riempie di amalgama pastosa di zinco; questo vase si pone entro un vase di vetro o di porcellana che si empie di solfato di rame; nell' amalgama s' introduce un filo di rame ch' è il *polo negativo* della pila; intorno al vase poroso e nel bagno di solfato di rame sta una lamina di rame che comunica con un filo dello stesso metallo e forma il *polo positivo* della pila. Lo zinco dell' amalgama è attaccato col tempo anche quando il filo positivo ed il negativo non comunicano tra loro: ma l' azione è debole: se per contro il circuito è aperto l' azione è forte, l' acqua è scomposta, lo zinco si ossida, l' amalgama diventa negativa, e questa elettricità negativa passa immediatamente alla lamina di rame che sta immersa nel bagno di solfato di rame; l' idrogeno positivo risultante dalla scomposizione dell' acqua va verso il rame ove riduce l' ossido del solfato, generando un deposito di rame metallico, nell' atto che l' acido riman libero per combinarsi all' ossido di zinco. Per la qual cosa un equivalente di zinco ossidato corrisponde ad un equivalente di rame repristinato. Il solfato di zinco che si forma vien sopra l'amalgama. Quest' elemento ha una forza sensibilmente costante, almeno per quanto il vase poroso permette una circolazione egualmente libera de' liquidi ed il solfato di rame è mantenuto ad un grado sufficiente di saturazione.

Elemento di Bagration (fig. 493). — Come pila ad un solo liquido debbo far mensione ancora d'un apparecchio a i lroclorato d'ammoniaca, immaginato dal Principe di Bagration, e convenevole soprattutto, a quel che pare, per le sperienze di galvanoplastica. Questa pila della quale non ho avuto occasione di servirmi, si costruisce ponendo in un vase di vetro o di legno dei cilindri o delle lamine parallele di zinco e di rame, a piccola distanza l'un dall' altro. Il vase è in parte ripieno di terra o di sabbia, è spruzzato di tempo in tempo con idroclorato d' ammoniaca; convenienti comunicazioni sono stabilite tra lo zinco ed il rame

Le pile di Smée, di Wollaston, di Young, di Munch, di Sturgeon, di Wheatstone delle quali di sopra è detto si somigliano in questo che tutte sono ad un solo liquido; che l'elettricità vi è sempre generata dalla scomposizione dell' acqua, risultante dall' affinità dello zinco per l' ossigeno; che i due metalli onde sono formate sono entrambi negativi per la comunicazione più o meno perfetta che hanno fuori del liquido, e che l' idrogeno il quale è positivo intanto va verso l' elemento non ossidato, platino, rame o ferro fuso, in quanto quest' elemento è dotato di elettricità negativa che ha ricevuta dallo zinco, e può così, scomponendo l' acqua pel verso opposto cioè prendendo l'idrogeno, compiere la serie delle scomposizioni successive tra tutte le molecole liquide che separano i due metalli.

La tensione elettrica elementare di queste diverse pile può intanto essere variabile; lo stesso deve dirsi della quantità di elettricità svolta sopra una data superficie, a cagione del diverso stato in cui trovasi lo zinco, della conducibilità propria del liquido e finalmente del diverso stato nel quale si trovano le superficie sulle quali l' idrogeno si svolge o si combina repristinando de' metalli.

Pile a due liquidi.

284. Per tipo delle pile ad un solo liquido abbiamo scelto l' elemento di Smée, perocchè i fenomeni in questo si compiono in un modo più semplice e regolare. Per la stessa ragione parlando delle pile a due liquidi sceglieremo l' elemento di Daniell, il quale ha pure il pre-

gio di dare facilmente delle correnti di costante intensità.

Elemento alla Daniell. — Questo elemento è espresso sotto tre forme diverse nelle figure 495, 497 e 501. Quello dinotato dalla figura 495 è stato da me adoperato nelle ricerche intorno alle leggi della intensità delle correnti idro-elettriche (§ 266 e segu.). Comincio dal darne la descrizione: esso è composto di un cilindro vuoto di rame molto sottile *a*, munito di zavorra di arena *b*, e chiuso da tutte le parti; il fondo inferiore è piano ed il superiore è conico; al di sopra della base di questo sorge un' orlatura *e* forata da molti buchi *f*; questo cilindro si pone entro una vescica la quale si lega all' orlatura *e* ma di supra a' buchi *f*, sul cono *d* si versa una soluzione satura di solfato di rame la quale pe' buchi passa nella vescica che circonda il cilindro di rame; poi sul cono medesimo pongonsi de' frammenti di solfato di rame, i quali si debbono rimettere secondo che si sciolgono nel liquido, che per questo deve continuamente bagnarli alquanto; un cilindro di zinco *h* vuoto e senza fondo, il quale ha una fenditura longitudinale per potersi allargare a piacimento, è immerso in una soluzione di solfato di zinco o di cloruro di sodio contenuta in un vase *i* di vetro o di maiolica. Il cilindro di rame si pone in quello di zinco, e le due laminette di rame *p* ed *n* saldate una al rame e l' altra allo zinco, rappresentano i due poli dell' apparecchio: aperto il circuito si avrà una corrente di una intensità costante per ore intere ed anche per giorni se questa comunicazione rimane la stessa.

Mentre la corrente passa e si osserva con la bussola da noi descritta (§ 265) il cilindro di rame si carica con un deposito di rame metallico repristinato, il quale generalmente è polverulento e senza coesione, e la soluzione di solfato di rame contenuta nella vescica presto s'impoverisce, se a quando a quando non si aggiungano sul cono *d* nuovi cristalli di solfato di rame per mantenere lo stato di saturazione. Dall'altra parte lo zinco si consuma e fuori della vescica nel vase di vetro la proporzione del solfato di zinco cresce. I fenomeni chimici possono qui come in altri casi somiglianti essere in più modi interpretati. Le reazioni che quivi intervengono non ancora sono state prese in disamina con quella giustezza che sarebbe mestieri per poterne dare un conto preciso. Si può per altro presumere che lo zinco tenda ad ossidarsi per la scomposizione dell' acqua che lo tocca e che per tal modo riducasi allo stato negativo; che per mezzo del conduttore esterno comunichi questo stato al cilindro di rame, il quale perciò diventa atto a ricevere l' idrogeno e ad assorbire la sua elettricità positiva. L' idrogeno però nascente in vece di svolgessi riduce l' ossido di rame del solfato; il metallo si deposita e l' acido solforico divenuto libero va a combinarsi all' ossido di zinco che si è già formato. Questa spiegazione come si vede è incompiuta perocchè per essa non s' intende come l'acido solforico messo in libertà giunga allo zinco per impadronirsi dell' ossido di zinco secondo che si forma. È vero che alcuni fisici dicono che nel momento in cui lo zinco è messo in comunicazione col cilindro di rame avviene una doppia scomposizione; quella dell'acqua e quella del solfato di rame; e che per questo l'ossigeno e l'acido solforico vengono insieme verso lo zinco, nell' atto che l' ossido di rame e l' idrogeno se ne vanno insieme verso il cilindro di rame. Ma questa ipotesi non mi pare che sciolga la difficoltà; essa non dice perchè il solfato di rame è scomposto, a meno che non si dica che la corrente generata dalla scomposizione dell' acqua genera la scomposizione del solfato di rame ed il trasferimento de' suoi elementi; il che non mi pare in alcun modo giustificato.

Ad onta della incertezza che può restare sopra alcune azioni secondarie e sulle loro cagioni, io son di credere che nell' elemento alla Daniell, del pari che negli altri de' quali di sopra è detto, l' unica cagione dello svolgimento dell' elettricità che costituisce la corrente sia la scomposizione dell' acqua, e che se in questo caso si usasse lo zinco amalgamato e l' acido solforico allungato in modo da non avere svolgimento di gas, si troverebbe per un equivalente di zinco distrutto, un equivalente di rame repristinato. Cotesti risultamenti per altro non mi pare si dovessero mutare sostituendo all' acido solforico allungato una soluzione di solfato di zinco, o di cloruro di sodio, o un mescuglio di soluzioni analoghe, le quali operano sulla corrente per la propria conducibilità e non per le azioni secondarie diverse cui danno nascimento.

La pila di Daniell si forma riunendo più elementi o co' poli dello stesso nome per avere maggior quantità di elettricità con la stessa tensione, o congiungendo i poli di nome contrario per avere maggior tensione con la stessa quantità (§ 268 e 269).

Gli elementi alla Daniell espressi nelle figure 497 e 501 non differiscono punto da quello ora descritto in quanto a' fenomeni chimici ed elettrici, ma ne differiscono solo per la di-

sposizione. In quello della figura 497 in vece della vescica vi è un vaso poroso di argilla non verniciata; in questo caso lo zinco è dentro ed il rame fuori. Il rame è il vase stesso che contiene la soluzione di solfato di rame. Dalla parte di sopra di questo vase vi ha una maniera di graticola sulla quale pongonsi i frammenti di solfato di rame i quali si debbono disciogliere; il vase poroso è pieno di acido solforico allungato o di una soluzione allungata di solfato di zinco, di cloruro di sodio, ec.; lo zinco che si tuffa in questa soluzione è una semplice lamina amalgamata.

L'elemento della figura 501 adoperato specialmente in Alemagna non differisce dal precedente se non per la piccola cellula ordinata a ricevere i frammenti di solfato di rame. Del resto l'elemento alla Daniell ha ricevuto molte diverse modificazioni per rispetto al diaframma poroso; sonosi adoperate molte sostanze organiche ed inorganiche; varie pelli, cuoio conciato, tela forte di canape, legno, gesso, terre cotte diverse, ec. ec.

Elemento di Becquerel o catena semplice ad ossigeno.—Questo strumento è stato immaginato da Becquerel (Becquerel, *Traité d'électricité*, t. III, pag. 292; e t. V, 1ª parte, pag. 215; ed Edmondo Becquerel, *Notice sur les piles à courant constant*, Ann. de Phys. et de Chim.; 1841, t. III, pag. 430); esso è espresso dalla figura 494 ed è composto di un largo tubo il cui estremo inferiore è chiuso da un turacciolo sul quale si pone per un centimetro di grossezza dell'argilla (caolino privo di carbonato di calce), umettata con una soluzione di cloruro di sodio; il tubo si empie di una *soluzione concentrata di potassa*, questo tubo s'immerge in un bicchiere pieno di *acido azotico concentrato*; una lamina di platino si tuffa nella potassa ed un'altra nell'acido azotico ed entrambi si fanno comunicare con un filo anche di platino. Come prima il circuito è aperto, l'ossigeno copiosamente si svolge sulla lamina della soluzione di potassa, nell'atto che sulla lamina dell'acido azotico questo si vede ridursi ad acido azotoso o ipoazotico senza svolgimento di gas. Edm. Becquerel non definisce in modo preciso la direzione della corrente; frattanto Becquerel (t. V, p. 216) dice che la lamina dell'alcali prende elettricità negativa e quella dell'acido elettricità positiva; ed io credo veramente che le cose in questo modo intervengano.

Per dare qui una spiegazione chiara e perfettamente soddisfacente de' fenomeni che intervengono in questo apparecchio, mi mancano parecchi dati che non sono stati raccolti e discussi con sufficiente giustezza.

Becquerel ha riuniti parecchi elementi per formar delle pile, ed ha conosciuto che riescon forti e costanti. (T. V, 1ª parte, p. 218 e seguenti).

Elemento alla Bunsen. — Esso è espresso dalla figura 502; i due liquidi sono l'acido azotico del commercio e l'acido solforico allungato in 10 o 12 volumi di acqua; i due corpi che ricevono l'elettricità sono lo zinco ed il carbone; i liquidi son separati da un vase poroso di argilla *d* che si empie di acido solforico allungato in cui si tuffa un cilindro *z* di zinco amalgamato, cavo e senza fondo, il vase poroso poggia sul fondo di un vase di vetro *v* che contiene l'acido azotico; in quest'acido sta il cilindro di carbone *cc* cavo e senza fondo che circonda il vase poroso. Questo ha pareti grosse, molto resistenti e a quando a quando buche per dar libera circolazione all'acido nel quale si trova. Questi cilindri si fabbricano con un metodo proprio, ammassando in una forma di ferro del *coke* o del carbon fossile in polvere mescolati in data proporzione, ed esponendo questo mescuglio nella sua forma ad una certa cottura; pare che dopo di aver dato alla massa un primo grado di aggregazione s'immerga in una soluzione di sciroppo per esporla dopo ad una cottura che si fa a fuoco molto forte. Questi cilindri sono ottimi conduttori dell'elettricità e perfettamente inalterabili nell'acido nitrico: nell'orlo superiore al di fuori del liquido portano un anello di rame al quale si unisce la lamina per le comunicazioni elettriche.

Il cilindro cavo di zinco porta una lamina simile la quale mercè una pinzetta si unisce alle altre nel comporre le pile. Quando lo zinco è bene amalgamato esso non patisce nella coppia di Bunsen del pari che in quella di Smee alcuna azione prima che la comunicazione sia aperta al di fuori tra esso ed il carbone; ma come prima il circuito è aperto, lo zinco si ossida, il solfato di zinco si forma; l'acido azotico è in parte ridotto senza sensibile svolgimento di gas, tanto sul carbone nell'acido azotico, quanto sullo zinco nell'acido solforico allungato; la corrente nello stesso tempo passa pe' conduttori andando dal carbone allo zinco, vale a dire che il carbone forma il polo positivo della pila, e lo zinco, come al solito, il polo negativo.

Anche qui l'elettricità è esclusivamente generata dalla scomposizione dell'acqua; e l'origine dell'azione mi pare essere parimenti l'affinità chimica dello zinco per l'ossigeno: per quest'affinità, sia che essa si eserciti effettiva-

mente sopra alcuni atomi di ossigeno e generi una piccolissima quantità di ossido, sia che essa tenda semplicemente ad esercitarsi tra tutte le molecole superficiali dello zinco e le molecole di ossigeno che lo toccano, la massa dello zinco si trova costituita in istato negativo, e però il carbone partecipa di questo stato quando pe' conduttori esterni si mette in comunicazione con lo zinco; allora come nella coppia alla Smée il circuito liquido può essere scomposto pe' suoi estremi, lo zinco prendendo l'ossigeno ed il carbone l'idrogeno; ma quest'idrogeno allo stato nascente opera sull'acido azotico per togliergli l'ossigeno che ha perduto e per trasformarlo quindi in acido ipoazotico che si scioglie nel bagno. Non pare impossibile per altro che sotto certe condizioni l'idrogeno si combini in parte col carbone.

L'elemento alla Bunsen conserva una forza sensibilmente costante per molto tempo; ma per non farlo molto voluminoso si suole dare al vaso poroso poca capacità, ed allora il solfato di zinco che si genera acquista troppo presto una grande proporzione nel liquido.

La Pila di Bunsen mi pare essere la migliore quando si voglia fare uso di molte vigorose coppie, ed avere effetti regolari e costanti la cui durata si estende a parecchie ore; qui non ci ha alcun deposito da togliere, o alcuna diligenza da usare per conservare il liquido sempre saturo. Quando si finisce di farne uso i diaframmi si gittano in un bagno di acqua, e gli elementi di zinco in un altro, amalgamando di nuovo quelli che ne hanno bisogno, il che si esegue in un momento.

Io non ho avuto occasione di eseguire svolgimento di vapori nitrosi in modo da incomodare.

La figura 503 rappresenta 10 elementi di Bunsen, come si dispongono per la formazione della batteria; 10 casse simili a quella qui rappresentata compongono una batteria di 100 elementi, atti a sviluppare potenti effetti chimici, e sorprendenti effetti di luce e di calore. Per questi ultimi si fa uso dell'eccitatore dinotato dalla fig. 505. I conduttori *p* ed *n* sono terminati da cilindri di carbone delle storte, che danno una splendente luce. Quando è stabilita la corrente, si possono allontanare l'un dall'altro, come si vedono in 1 e 2 (*fig.* 504); 2. rappresenta la fiamma tranquilla; 1 la fiamma agitata e diretta dall'azione d'una calamita. 3. rappresenta il sostegno *s* di carbone, che si sostituisce sul conduttore *p* della figura 503, quando vogliansi, per esempio, fondere de' metalli come l'oro ed il platino, o altri corpi disposti nella cavità del sostegno *s*. Con questo apparecchio si può dimostrare ancora la scomposizione degli alcali, perchè basta per ciò mettere sul sostegno *s* un frammento, al quanto grosso, di soda o di potassa; si veggono allora le particelle di sodio o di potassio lanciarsi, bruciando, verso la punta del carbone, che fa da polo negativo.

Elemento di Schoenbein. — Schoenbein ha avuto ottimi risultamenti da due coppie le quali sono in certa guisa modificazioni delle antecedenti. Invece di una vase di vetro egli ne ha adoperato uno di ferro fuso renduto passivo, ed in questo in vece di acido nitrico versa un mescuglio di tre parti di acido nitrico ed una di acido solforico del commercio; il cilindro di carbone è soppresso; il diaframma poroso contenente lo zinco amalgamato e l'acqua acidolata si pone nel mezzo del vase di ferro fuso il quale diventa così il polo positivo della pila. Ha pure Schoenbein allo zinco amalgamato sostituito un cilindro cavo di ferro fuso non passivo. (*Archives de l'électricité, de M. de la Rive. t.* II. p. 286). Le azioni chimiche sono qui le stesse che nell'elemento alla Bunsen; almeno io credo che non subiscono alcun cangiamento per la presenza dell'acido solforico nell'acido nitrico.

Elemento di Grove. — Questo elemento il più piccolo fra quanti se ne sono immaginati, è espresso dalla figura 500; il diaframma poroso è una *testa di pipa*. Il piccolo estremo del cannello che resta aderente alla pipa è chiuso; questo diaframma si ferma nel mezzo di un bicchiere comune pieno di acido azotico, nell'atto che il diaframma contiene un poco di amalgama di zinco ed acido solforico allungato. Questo elemento non differisce da quello di Bunsen se non per lo stato dell'amalgama, per la natura del diaframma, ed anche pel polo positivo, che qui è una lamina di platino. (*Comptes rendus*, 1839 t. VIII, p. 269).

Grove ha dato a questi elementi un'altra disposizione (fig. 498 e 499); il diaframma poroso *d* ha la forma di un parallelepipedo; esso contiene dell'acido azotico concentrato ed una lamina di platino; il vaso esterno ne contiene dell'acido solforico allungato ed una lamina di zinco amalgamato *zz*, la quale si ripiega sotto il diaframma e che sopra i lati vi resta molto avvicinata; anche qui l'azione chimica è la stessa che nella pila di Bunsen. L'autore fa giustamente osservare che questa pila perde molto di sua forza tosto che l'acido azotico è tanto indebolito che l'idrogeno si svolge sul platino.

Alcune volte il Grove ha sostituito all'acido solforico l'acido idroclorico allungato in due volumi di acqua; in questo caso non è più l'ossigeno che determina l'azione ma il cloro; l'acqua non è più scomposta, ma solo l'acido idroclorico il cui idrogeno viene ad operare sull'acido azotico.

Elemento di de la Rive. — De la Rive appigliandosi alla forma dell'elemento di Grove di cui di sopra è detto, ha avuto la felice idea di sostituire all'acido azotico un altro corpo conduttore facile a disossigenarsi; egli ha tentato il perossido di piombo che è riuscito opportunissimo. L'ossido di piombo è premuto nel diaframma da ambe le parti della lamina di platino. De la Rive ha fatto delle importanti osservazioni unendo molti elementi ad ossido di piombo o uno di questi con elementi di Grove e di Daniell; egli ha parimente conosciuto che la intensità della corrente diminuisce ponendo il rame in vece del platino. (*Ann. de Phys. et de Chim.*, 1843 t. VIII, p. 36). Speriamo che il professor de la Rive voglia continuare le curiose sperienze che ha fatte sul proposito, e che dia ragione delle notabili anomalie che egli ha avuto occasione di osservare.

Pila a gas di Grove.

285. Il Grove è giunto a fare una pila che dipende da principî tanto nuovi ed inaspettati, che lo la giudico una delle più importanti scoperte per le teoriche elettro-chimiche. Questa pila si vede nella figura 506; essa è composta di piccole campane di vetro in part piene d'idrogeno ed ossigeno, capovolte in acqua pura lievemente acidolata con acido solforico. Ogni bicchiere contiene due campane di queste, una contenente ossigeno l'altra idrogeno, ed in ognuna ci ha una piccola lamina di platino platinato che ne occupa quasi tutta l'altezza. Nell'ordinamento rappresentato dalla figura queste lamine sporgono dalla parte di sopra ove sono unite a mastice col vetro; talvolta il Grove usa di piegarle dalla parte di sotto per guidarle fuori del liquido. La pila si compone facendo comunicare per esempio la lamina dell'idrogeno del primo bicchiere con quella dell'ossigeno del secondo; indi la lamina dell'idrogeno di questo con quella dell'ossigeno del terzo e così appresso, in modo che l'estreme lamine appartengono a gas diversi; quella dell'ossigeno forma il *polo positivo* della pila, e quella dell'idrogeno il *polo negativo*. Quando questi due poli sono messi in comunicazione hassi una corrente di notabile intensità: ecco i fenomeni dal Grove osservati con una pila di cinque coppie. (*Trans. Phil.* 1843, ed *Archives de l'électricité.* t. III, pag. 489).

1° Una scossa sensibile fu provata da cinque persone che formavano catena;

2° Un elettroscopio a lamine d'oro mostrò segni di forte tensione;

3° Una brillante scintilla visibile in pieno giorno apparve tra due punte di carbone;

4° Il ioduro di potassio, l'acido idroclorico e l'acqua acidolata con l'acido solforico furono successivamente scomposti.

Mentre la corrente passa generando questi effetti i volumi dei gas nelle piccole campane scemano; essi sono visibilmente assorbiti e l'idrogeno più dell'ossigeno.

In altre serie di esperienze, Grove si è renduto certo, che il volume d'idrogeno che sparisce è doppio di quello dell'ossigeno; e quando la pila è esclusivamente adoperata a scomporre l'acqua, i volumi de' gas raccolti nel voltametro, tanto per l'idrogeno quanto per l'ossigeno sono perfettamente eguali alla somma de' volumi di questi gas che spariscono nelle campane. Per la qual cosa l'apparecchio durante la sua azione ricompone una quantità d'acqua precisamente eguale a quella che scompone.

Quando le lamine del platino presentano a'gas delle campane una superficie troppo piccola, l'azione è debole, e cresce con l'ampiezza delle superficie messe a contatto dei gas.

Grove ha già variato molto coteste sperienze risguardanti un argomento tanto importante; ma le dubbiezze onde ancora sono circondate le vere cagioni degli effetti chimici ed elettrici che nel suo strumento si manifestano non mi permettono di prendere qui in disamina le spiegazioni più o meno ingegnose con cui Grove ed altri fisici han cercato di darne ragione.

§ 4. *Varie applicazioni dell' elettricità voltaica.*

Parecchi fisici aveano osservato, che ripristinando i metalli mercè l'azione della corrente elettrica, siccome dalle cose dette innanzi chiaro apparisce, si hanno de' depositi per apparenza, e per disposizione molecolare molto diversi. Alcune volte i metalli si presentano sotto l'aspetto di una polvere nera ed incoerente, simile alla polvere di carbone molto fina, o forse meglio al nero fumo; altre volte è una polvere che quantun-

que apparisca metallica pure non ha alcuna coesione, e spesso da ultimo si presenta con l'aspetto metallico tanto pel colore, quanto per lo spendore, per la tenacità, e per tutte le altre qualità; l'albero di Saturno ne offre un esempio. La invenzione della pila di Daniell, che dà continuamente de' depositi di rame, ha dato occasione di porre continuamente sotto gli occhi, de' fisici cotesti fenomeni. Spencer in Inghilterra, e Jacobi in Russia, sono stati i primi ad osservarli con attenzione negli anni 1837 e 1838, ed entrambi hanno scorto con abilità il germe di molte applicazioni che essi offrir poteano alle arti. Il rame, in certe congiunture prende nel repristinarsi perfettamente la forma dei corpi che lo ricevono, esso prende la configurazione della forma, con quella fedeltà che la prenderebbe la cera la più acconcia a ricevere le impronte; e frattanto prende e conserva tutte le proprietà metalliche e specialmente la durezza, e la malleabilità. Questo fatto appunto è stato quello, che è diventato fecondo, ed ha dato nascimento ad un'arte nuova detta *galvano-plastica*.

Debbo qui aggiungere che io penso doversi questa voce, come molti fanno, usare per esprimere in una maniera generale ogni deposito fatto per l'elettricità, il quale prenda la forma dell'elettrodo, o del corpo che lo riceve; il che non impedisce che si usino altre espressioni più ristrette per dinotare dei depositi, che si distinguono per l'uso o per le qualità loro. Secondo questo modo d'intendere la galvanoplastica comprende la galvanoplastica propriamente detta, che si riferisce alle statue, a' bassi rilievi, medaglie, ec.; la galvanotipia, o elettrotipia, che si riferisce alle vignette (*clichés*), alle lamine incise, e generalmente a tutti gli obbietti ordinati a trasportare le loro impronte sopra altri corpi, mercè la pressione; la doratura, l'argentatura, la platinatura, la cobaltura, la zincatura ec., i depositi di ossido, ec., in una parola i *depositi preservatori*, i quali si applicano alla superficie dei corpi, a guisa di una vernice non solo per dar loro un certo splendore, ma eziandio per renderli inalterabili.

Seguendo una tale divisione, noi procureremo brevemente di dare un'idea di queste varie branche della galvanoplastica.

286. *Galvanoplastica.* — Dalle cose dette apparisce che qualunque corpo sia organico sia inorganico, può essere coperto da un inviluppo di rame, che per ogni parte lo circondi, il quale per altro sia così sottile da conservare i tratti, ed i lineamenti i più delicati. Prendiamo per esempio, una statuetta di gesso, e vediamo come le si possa dare l'apparenza di una statuetta di rame. Per far questo è chiaro che basta immergerla in una soluzione di un sale di rame solfato, azotato, ec. (generalmente si preferisce il solfato), e di fare che essa diventi l'elettrodo negativo di una pila il cui elettrodo positivo peschi nella soluzione. Come prima il circuito si apre il rame va a deporsi da prima come un velo sotilissimo che poi va progressivamente crescendo in grossezza, quando si crederà che sia sufficiente basterà di far cessare l'operazione, e levare la statuetta lavandola ed asciugandola. Se l'operazione è stata ben regolata, il rivestimento di rame sarà egualmente grosso da per tutto, avrà $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{10}$ di grossezza secondo la intensità della corrente e la durata di sua azione.

La cosa pare semplicissima, e pure è mestieri provvedere a parecchie condizioni che ci faremo ad esporre.

1.° Il rame si deposita sull'elettrodo quando esso è conduttore, ma il gesso perchè cattivo conduttore non potrebbe ricevere un deposito regolare ed uniforme. È mestieri dunque rendere la sua superficie egualmente deferente. Al che si perviene in parecchi modi come per esempio con la miniera di piombo ridotta in polvere impalpabile che si spande, mercè un pennello, o una pelle morbida, con la polvere di argento, o con altre somiglianti preparazioni; ecco ciò che dicesi *rendere le superficie metalliche* (*metalliser*).

2.° Spesso il rame si deposita in particelle incoerenti in vece di formare una lamina dura e malleabile. Le qualità del deposito dipendono specialmente, dalla intensità della corrente, dalla temperatura del bagno e dal grado di sua saturazione: in generale le correnti deboli, danno un rame tanto malleabile che si taglia col coltello; alla corrente un poco più forte corrisponde un deposito più duro, procedendo più oltre il deposito si ha fragile, poi granelloso, cristallino, rugoso, e da ultimo polverulento, e senza bastante coesione: conviene dunque scegliere un numero conveniente di coppie, e sotto pena di non riuscire, osservare la intensità della corrente, per rispetto alla temperatura, il grado di saturazione e di acidità della soluzione.

3.° In ragione dell'accrescimento del deposito la soluzione diviene più scarsa; onde la natura del deposito deve cangiare, purchè

la intensità della corrente non si proporzioni al grado di saturazione. Ma avvi una invenzione ingegnosa che ripara a questi sconci ed è *l' elettrodo solubile*: per elettrodo positivo, si fa uso di lamine di rame, le quali si ossidano, e quindi si convertono in solfato, per cui l' elettrodo positivo restituisce al bagno tanto metallo, per quanto il negativo ne toglie, o almeno se non ci ha perfetto compenso, l' approssimazione è tale da lasciare al deposito le sue qualità.

4.° Egli è mestieri, che il deposito sia da per tutto uniforme, e cresca egualmente in tutt' i punti della superficie; al che si perviene moltiplicando da una parte i punti di unione dell'elettrodo negativo co' fili che vanno al polo positivo, e dall' altra moltiplicando gli elettrodi positivi solubili, badando di presentarli all' elettrodo negativo in diversi punti scelti con senno, e specialmente a distanze convenienti, perocchè la intensità delle correnti derivate che allora si formano, è più o meno modificata dalle distanze. Si è anche osservato che la forma stessa degli obbietti, e la curvatura delle loro superficie, facilitano più o meno i depositi, così essi tendono generalmente a farsi sulle parti prominenti, e ci vuole una particolar diligenza affinchè si formino anche nelle cavità.

5.° Se l' obbietto preso in esempio, fosse tale da inzupparsi della soluzione di solfato di rame, nel tempo che deve rimanervi immerso prima di essersi coperto, converrebbe impedire l' assorbimento preparandolo in modo da renderlo bastantemente impermeabile.

Questi sono in generale i principî coi quali si è giunto a coprire di rame con maravigliosa perfezione, non solo delle statuette o delle statue grandissime, ma eziandio oggetti i più svariati, come frutta di ogni maniera, rami, fronde, fiori; gli animali stessi come pesci, crostacei, uccelli, ec. Ma in questi casi è mestieri di una certa abilità, che solo con la pratica si suole acquistare.

Da prima s' intende, come per tal modo si possa agevolmente riprodurre ciascuna faccia di una medaglia metallica: qui l' elettrodo è di per se stesso un eccellente conduttore; basterà dunque coprire di cera quella delle superficie, di cui non vuolsi avere l' incavo, ed operare nel modo che di sopra è detto. Si avrà così tra poco un eccellente incavo della medaglia il quale a sua posta può servire di modello per riprodurre il rilievo. Ma qui ci si para innanzi una nuova difficoltà, perocchè non basta di avere ottenuto il deposito, conviene separarlo dalla forma ed avere entrambi perfettamente intatti; la difficoltà sembra tanto più grave quando la forma non abbia una superficie viva e metallica, potendo finire di condurre bene l' elettricità. Pure con varî artifizî, si è giunto a conciliare queste due condizioni, in certo modo opposte: sulla superficie della forma si spande un velo sottilissimo di una materia la quale impedisca una soverchia adesione, senza impedire la perfetta generazione del deposito; e per questo si usa talvolta la cera o delle sostanze grasse, e spesso, come ha fatto Boquillon, un velo di fumo bianco nascente dalla combustione de' corpi resinosi.

Se finalmente l' originale da cui si vuol trarre la copia non possa essere immerso nella soluzione, se ne cava un' impronta con la cera, col gesso, ec. ovvero con un metallo, come s' usa per le vignette, il quale può essere piombo, lega fusibile, ec. Allora, secondo la natura di questa impronta, si *metallizza* se non è deferente, o si *vela* se è metallica.

Si può eziandio riprodurre una statua di bronzo, di marmo o di gesso; allora bisogna fare il concavo a pezzi in gesso o in altra maniera, ordinare tutti questi pezzi e riunirli: in questo caso la soluzione va messa nel vuoto della forma, accomodando gli elettrodi positivi con giudizio affinchè il rilievo venga da per tutto egualmente grosso. Quando l' operazione è fatta, altro non rimane che togliere la forma esteriore. Altre volte invece di fare la statua di un sol pezzo si fa in molte parti che poscia tra loro si uniscono.

I bassi rilievi, siano quali si vogliano le loro dimensioni, si possono avere anche con pari facilità; Soyer abilissimo fonditore, mercè la galvanoplastica, ha eseguito colla massima perfezione i grandi bassi rilievi che ornano lo zoccolo della statua di Guttemberg.

Dalle cose dette apparisce che per la galvanoplastica, conviene por mente a quattro cose essenziali: alla preparazione degli obbietti o delle forme, alla forza della corrente, allo stato della soluzione ed all' ordinamento degli elettrodi. Ciascuna delle quali cose presentava delle difficoltà particolari, le quali non poteano esser vinte, se non per mezzo di tentativi pratici continuati con senno. Quasi da per tutto osservatori ingegnosi vi han posto mano pervenendo a molte invenzioni utili all' arte, ed importanti per la scienza. Oltre le memorie nelle quali Jacobi e Spencer hanno annunziati i loro primi risultamenti, io ricorderò i lavori di Smée in Inghilterra e di Boquillon in Francia, come quelli che hanno

molto giovato all' avanzamento di quest' arte per quanto nuova altrettanto diffusa. (*Elements of electro-metallurgy*, London 1841.— Boquillon, *Revue scintifique*, 1842).

286 *bis*. *Elettrotipia*. — Si è cercato di riprodurre colla galvanoplastica le incisioni di rame sia per le stampe sia per le carte geografiche; come anche le incisioni in acciaro, le lamine del dagerrotipo, le vignette e per fino de' disegni eseguiti sul metallo mercè una particolare composizione (1).

Lamine di taglio dolce. — Hannosi talvolta effetti soddisfacenti prendendo una lamina in taglio dolce, ed immergendola direttamente nella soluzione nel modo di sopra descritto per avere sopra di essa un deposito; altre volte si prende il rilievo della lamina ottenuto per pressione o con lamine di piombo o col metodo delle vignette. Ma finora l' industria non ha potuto giovarsi di questi saggi.

Incisioni di acciaro. Queste generalmente non si possono immergere nella soluzione di solfato di rame, e però si trattano con la soluzione di cianuro doppio di argento e di potassio, avendosi così un deposito di argento invece di rame, il quale distaccandosi presenterà un rilievo che messo nella soluzione di solfato di rame riprodurrà fedelmente l'incisione della lamina primitiva.

Le lamine degherriane trattate direttamente o indirettamente non han dato finora risultamenti che promettano un prossimo avvenire a questo genere di riproduzioni.

I così detti *clichés*, le *vignette tipografiche* si riproducono benissimo; ma qui la galvanoplastica si trova in concorrenza con molti metodi di moltissima economia.

Disegni o *elettro-pittura* (*electro-tint*). Kobbel di Monaco ha immaginato di disegnare sopra opportuno metallo con vernice da incisore e con altra somigliante composizione variando i tuoni con la grossezza degli strati, allora egli prepara la lamina e quando è necessario *metallizza* il disegno; indi ponendola nel bagno di solfato di rame ne ha un deposito ch' è una maniera di lamina incisa atta a riprodurre il disegno.

In tutto ciò che precede noi abbiamo solo parlato di depositi di rame; ma v' ha di altri metalli i quali possono eziandio con le debite precauzioni dare risultamenti simili a quelli che si hanno agevolmente col rame. Questo per altro è per la galvanoplastica il metallo per eccellenza; gli altri quasi tutti sono più difficili a trattare all' infuori dell' oro e del l' argento, e ve n' ha perfino di quelli che non ancora sonosi potuti avere in masse coerenti e malleabili di una regolare grossezza, come sarebbe il ferro.

Depositi metallici molto sottili; dorature, argentature, ec.

287. Non possiamo qui trattenerci sopra tutt' i particolari tecnici che riguardano l'arte del doratore, dell' inargentatore, ec. perocchè ci proponiamo semplicemente di additare con brevità i principî da' quali dipende il repristinamento de' metalli preziosi e la deposizione di essi in falde sottilissime sopra altri metalli.

Doratura per immersione, ovvero col metodo di Elkington. — Elkington da poco ha immaginato il seguente metodo per dorare il rame e l' ottone: i pezzi essendo ben forbiti si sospendono a fili metallici e si pongono in un bagno bollente, la cui composizione è così descritta nella patente di Elkington. — Si fa un mescuglio di 435 grammi di acqua, altrettanto di acido azotico la cui densità sia 1,45, ed altrettanto di acido cloroidrico la cui densità sia di 1,15; entro di questo liquido si fanno sciogliere 155 grammi di oro. Quando la soluzione è fatta si riscaldi per renderla limpida; si decanti e si versi in un vase di ferro; allora vi si aggiungono 18 litri di acqua e 9 chilogrammi di carbonato di potassa e si fa bollire per due ore. Pare che per questa obollizione il bicloruro di oro si trasformi in protocloruro.

In questa soluzione così preparata e bollente debbono i pezzi essere immersi agitandoli lievemente fino a che siano convenientemente dorati, il che richiede tempo brevissimo; indi si lavano in molta acqua e si asciugano con polvere di legno calda.

In questa operazione il cloro cangia di base, esso passa sul rame per formare il cloruro di rame che si scioglie, nell'atto che l' oro libero si attacca alla superficie del rame di cui prende il luogo. Il deposito è aderente, nè ci è a temere che diventi troppo grosso. Risulta dalle sperienze di Arcet che il peso di oro depositato sopra ogni centimetro quadrato di superficie varia da 30 a 40 milligrammi, nell' atto che sulla stessa superficie con la doratura a mercurio varia da' 50 a' 250 milligrammi.

Doratura galvanica — Fu de la Rive che in questi ultimi tempi richiamò l' attenzione de' fisici e de' chimici sulla utilità che poteasi, che sia stato il nostro Filippo Cirelli.

(1) Il primo forse a dare opera a questo procedimento e ad ottenere plausibili risultamenti pare

ricavare dalle correnti elettriche in pro dell' arte della indoratura. Le indicazioni da lui date sono state di poi modificate e perfezionate: vi fu sul proposito una disputa di priorità tra le patenti di Elkington, de Ruolz e Boquillon per rispetto a parecchie condizioni necessarie al buon successo delle esperienze. Senza entrare qui in disamina de' titoli che gl' inventori possono vantare nello spaccio delle loro industrie privilegiate, mi farò solo ad indicare in poche parole il modo che si tiene al presente in alcuni opifici. Si mescolano delle soluzioni di cloruro di oro e di cianoro di potassio in proporzioni che possono variare moltissimo, questo mescuglio può essere più o meno concentrato e più o meno caldo; verso la parete interna del vase che lo contiene si sospende una lamina di oro che fa l' uffizio di elettrodo solubile e poi si procede come per la doratura ad immersione innanzi descritta, con questa sola differenza che qui i fili congiunti a' pezzi da indorare comunicano col polo negativo di una pila, nell' atto che il polo positivo per vari punti comunica con l'anzidetta lamina di oro. In questa operazione egualmente che nell' altra del rame di sopra descritta, la intensità della corrente deve esser regolata secondo varie condizioni relative alla temperatura del bagno, al grado di sua concentrazione, spesso anche al potassio, e specialmente alla estensione de' pezzi simultaneamente esposti alla sua azione.

Questo metodo non solo vale pel rame e per l' ottone, ma eziandio per l' argento, per alcune leghe, pel ferro, per l' acciaro; ciò non pertanto le condizioni di aderenza non sono le stesse per tutt' i metalli: pare che sopra i primi si trovino bastantemente soddisfatte, ma le indorature sul ferro e sull' acciaro par che restino ancor molto a desiderare.

Per innargentare si opera nello stesso modo usando di un bagno di cianuro doppio di argento e di potassio.

Così si perviene a coprire i metalli di cobalto, o di niccolo, adoperando i cianuri doppj di questi metalli.

Becquerel ha ultimamente presentato all' Accademia delle scienze (*Comptes Rendus*, marzo 1844, pag. 449) alcune belle mostre di metalli coperti di platino, di cobalto, di niccolo, di palladio, d' iridio, ec. Il metodo da lui seguitato per averli è stato quello della indoratura per immersione di cui abbiamo di sopra discorso; esso consiste a preparare una soluzione di doppio cloruro metallico ed alcalino, e ad eseguire la immersione ad una temperatura compresa tra 0 e 100°. I pezzi opportunamente forbiti sono immersi e lievemente agitati nel bagno; poi dopo un minuto circa di tempo si tiran fuori asciugandoli con polvere di legno calda.

Metteremo qui come per esempio la preparazione del cloruro doppio di platino. « Prendesi una soluzione di platino neutra per quanto più si può, in essa si versa una soluzione concentrata di potassa per operare la sua scomposizione. Il precipitato si lava da prima con un mescuglio di alcool e di acqua, poi con alcool comune per levare l' eccesso di alcali, senza sciogliere il doppio cloruro o almeno il mescuglio di doppio cloruro e di platinato di potassa. Questo allora si ha perfettamente neutro, perocchè la sua soluzione nell' acqua distillata non cangia il colore della carta di girasole arrossita da un acido. Questa soluzione allungata in due o tre volte il suo volume di acqua serve ad ottenere la *platinatura* operando a 60 o a 70 gradi al massimo. »

Depositi di ossidi e colorazione de' metalli mercè l' ossido di piombo.

287.*bis*. Priestley pare essere stato il primo che abbia posto mente alla colorazione de' metalli per mezzo dell' elettricità; ei parla nelle sue opere di molte sperienze fatte sul proposito. Il suo metodo riducesi a far passare delle scariche elettriche attraverso di forbite lamine metalliche, la corrente essendo diretta per due punte opposte ed avvicinate alla lamina, presso a poco come nel noto esperimento del buca-vetro. Pare che il metallo delle punte sia trasportato dalle scariche, e vada a formare sulla lamina degli anelli concentrici di varie tinte; le quali dipendono dalla varia grossezza della materia trasportata e quasi incorporata con quella della lamina.

Il Nobili giunse a colorire i metalli ma con metodo diverso da quello del Priestley. Il fisico italiano faceva uso di soluzioni metalliche o anche vegetali; la lamina metallica sulla quale volea far nascere i colori era immersa nella soluzione e facevasi comunicare con uno de' poli della pila, nell' atto che l' altro polo composto di una punta o di un filo finissimo presentavasi a piccola distanza dalla lamina; una pila più o meno forte dava la corrente la quale, scomponendo la soluzione, la lamina in pochi momenti si copriva di una serie di anelli variamente colorati il centro de' quali corrispondeva alla punta, spostando la quale, appresso a questa serie se ne faceva nascere un' altra in modo da potere in breve coprir tutta la lamina di colori, le cui tinte ed il cui

ordinamento potea variare all' infinito. Le soluzioni de'sali di piombo davano specialmente de' colori vivi e brillanti ; ma generalmente erano più vivi quando la lamina faceva da polo positivo. Pare che in questo genere di esperienze i metalli ossidabili si coprano di un velo di ossido più o meno grosso e che i metalli non ossidabili si coprano de' diversi prodotti ossigenati delle soluzioni.

Becquerel guidato unicamente da somiglianti ricerche è giunto con nuovi metodi a risultamenti, i quali hanno forse delle attenenze con quelli del Nobili ; ma che sembrano acconci per applicazioni molto più estese ed importanti (*Comptes Rendus*, 1843, 2° sem., p.1 e 53; e 1844, 1° sem. p. 179).

Le sperienze di Becquerel risguardano tre cose che prenderemo successivamente in disamina. 1.° Deposito di ossido di piombo sopra i metalli per variamente colorirli; 2° deposito di ossido di piombo in falde più o meno grosse sopra i metalli ossidabili per renderli inalterabili all'aria; 3° deposito di perossido di ferro per avere lo stesso risultamento.

Colorazione mercè l' ossido di piombo. Si fa bollire insieme col litargirio una soluzione di potassa caustica in modo che essa si saturi di protossido di piombo ; questa soluzione deve essere adoperata alla temperatura dell'ambiente di 12 in 15°, e di densità che corrisponda a 24 in 25 gradi dell'areometro di Baumé. Quando dopo un certo numero di esperienze essa non è più satura , si farà di nuovo saturare facendola bollire con litargirio ; e siccome nello stesso tempo una parte della potassa ha assorbito l' acido carbonico dell' aria, così si aggiunge un poco di calce e si filtra per ispogliarla del carbonato di calce che si è precipitato.

Questa soluzione si versa in un largo vase di vetro , entro vi s' immerge l' obbietto da colorire il quale sia già stato convenientemente forbito , e poi si fa passare la corrente nel modo che segue: l'obbietto è sempre congiunto al polo positivo della pila ed il polo negativo gli è collocato di rincontro a varie distanze a seconda degli effetti che si vogliono ottenere. Spesso è mestieri che l' obbietto sia congiunto al polo posito non già con un filo solo ma con più fili le cui congiunzioni siano scelte con simmetria a seconda della figura dell'oggetto; in simil guisa è necessario moltiplicare il polo negativo. Becquerel ha conosciuto che i fili di platino di un decimo di millimetro di diametro chiusi in cannelli di vetro e tagliati nell' uscire da' medesimi sono i migliori elettrodi negativi ; per questa piccolissima sezione la corrente passa nella soluzione , e quando si abbia un numero sufficiente di siffatti cannelli e si sappiano opportunamente maneggiare si perviene in certo modo a dipingere sopra i vari punti dell' oggetto tutte quelle tinte di cui voleasi ornare.

L' operazione si compie in tempo assai breve, essa dura appena uno o due minuti e spesso solo trenta o quaranta secondi.

La pila che Becquerel trova più acconcia per questo scopo è composta di sei coppie di zinco e rame immerse in acqua acidolata con un centesimo di acido solforico. Lo zinco è un cilindro pieno ed amalgamato , di 10 centimetri di altezza sopra due o tre di diametro ; il rame è una lamina della stessa altezza piegata in forma cilindrica intorno allo zinco alla distanza di 3 o 4 centimetri.

Le sperienze non possono riuscire se non sopra obbietti le cui superficie siano perfettamente metalliche e non imbrattate da materie straniere. I metalli non ossidabili come l'oro , il platino , il rame indorato ec. debbono prima essere confricati con una spazzola imbevuta di un' acqua alcalina ; talvolta è mestieri porre sulla spazzola un poco di rosso d' Inghilterra : si lavan poi in molta acqua e tosto si espongono all' esperienza, badando di non toccarli con le dita.

Pel rame e per l' ottone è mestieri prima purgarli, facendo cioè prima riscaldare i pezzi fino a che divengano quasi roventi ed indi immergerli nell' acido solforico allungato che indichi 12 gradi dell' areometro di Baumè , riscaldato fino alla temperatura di 60 in 80°, dopo si forbiscono passandoli successivamente in due altri bagni il primo di acido azotico , il secondo di un mescuglio di tre parti di acido azotico ed una parte di acido solforico con aggiunta di sal marino; uscendo da questo i pezzi si lavano in molta acqua per passarli tosto nel bagno di colorazione.

Il ferro e l' acciaio molto netti si trattano come l' oro ed il platino ; alcune leghe si forbiscono solo con finissima polvere di pomice; l' argento se non sia forbitissimo non prende belli colori, perchè si ossida troppo facilmente.

Come prima mercè il moto degli elettrodi negativi opportunamente variato , si è giunto a dare a' pezzi i colori che si voleano , si tolgono dal bagno; per subito lavarli ed asciugarli.

In questo stato non potrebbero conservare per lungo tempo il loro splendore, al che Becquerel rimedia coprendoli mercè un pennello con una vernice che prepara nel seguente modo : in una pentola inverniciata si pone un

mezzo litro di olio di lino, 4 in 8 grammi di litargirio fino, 2 grammi di solfato di zinco e si fa riscaldare ad una moderata temperatura per alcune ore, si filtra per separare l'eccesso di litargirio, e se l'olio è troppo denso si aggiunge un poco di essenza di terebintina fatta prima bollire sul litargirio.

Quando un pezzo non è riuscito bene si passa nell'acido acetico per toglierli il velo di ossido di piombo già depositato e si prepara per una nuova operazione.

Becquerel dà ragione di cotesti fenomeni in parecchi luoghi delle sue Memorie, e parmi che la sua teorica possa così riassumersi: Nelle condizioni nelle quali si opera l'ossido di piombo e la potassa formano un piombato di potassa, il quale è scomposto come un sale ordinario, andando l'ossido di piombo al polo positivo e la potassa al polo negativo; nello stesso tempo l'acqua è anche scomposta, l'ossigeno dell'acqua soprossida il piombo, ed il perossido che ne risulta è appunto quello che aderisce compiutamente sul polo positivo. Questo perossido in falde tanto sottili è trasparente, per cui da una parte lascia vedere per trasmissione il colore proprio del metallo che copre, dall'altra parte esso opera come lamina sottile e fa vedere i belli colori delle bolle di sapone. L'idrogeno intanto del polo negativo o si svolge almeno in parte, o riduce l'ossido di piombo per far nascere sopra questo delle laminette di piombo metallico.

Qualche volta invece della falda colorante si ottiene verso il polo positivo un deposito giallo non aderente che Becquerel considera come perossido idrato, contenente un atomo di acqua.

Pare dunque che i belli colori de' quali di sopra è detto si abbiano in virtù di molte condizioni difficili ad essere ben realizzate: prima di tutto è mestieri che al polo positivo non si abbia svolgimento di ossigeno, cioè che l'ossigeno proveniente dalla scomposizione dell'acqua sia precisamente tanto che basti a soprossidare l'ossido proveniente dalla scomposizione del sale di piombo; ossia che per un atomo di acqua vi sia un atomo di sale scomposto; poi è necessario che il perossido di piombo generato non diventi idrato.

Quando Becquerel vuole far depositare una falda grossa di ossido sopra i metalli ossidabili per non far loro patire alterazioni, giovasi eziandio dell'antecedente soluzione, ma procede in altra guisa. Questa soluzione è versata in un largo vase di vetro, in mezzo al quale è un vase di porcellana non verniciato e poroso pieno di un mescuglio di acqua con un ventesimo di acido azotico. Il polo positivo di un elemento comune congiungesi al pezzo che si vuol coprire il quale sta immerso nella soluzione di piombo e di potassa, il polo negativo che è un filo di platino è immerso nella soluzione azotica, ed in breve tempo il pezzo è da per tutto coperto da una bruna falda di ossido, la quale è molto aderente e soffre anche l'azione del brunitoio.

In modo pressochè simile hannosi i depositi di perossido di ferro, se non che il protossido di ferro è sciolto nell'ammoniaca; per la qual cosa mercè l'ammoniaca si precipita una soluzione di protosolfato di ferro privo di aria, e si aggiunge tanta ammoniaca che basti a sciogliere di nuovo il protossido precipitato; questa soluzione ammoniacale appunto è quella che fa le veci della soluzione di potassa dell'antecedente esperienza. Per tutto il resto si opera nello stesso modo. È per altro da notare che non tutti i metalli ossidabili possono essere assoggettati a questo procedimento: Becquerel ha avuto risultamenti negativi col rame dorato o inargentato, nell'atto che ha ottenuti effetti soddisfacenti col ferro e con l'acciaio. La falda di perossido di ferro depositato ha potuto molto bene tollerare l'azione del brunitoio.

Cotesti saggi sono importanti, essi ci danno ragione di sperare che si arriverà ad applicare i metodi galvanici per rivestire i metalli di ossidi metallici molto aderenti e quasi inalterabili.

CAPO VIII.

FENOMENI D'INDUZIONE.

288. *Strumento d'induzione da cui si hanno tutt' i fenomeni della pila.*—Abbiamo fatto conoscere (§ 251) la proposizione fondamentale risguardante l'origine delle correnti d'induzione, ci faremo ora ad indicare le conseguenze dirette che ricavansi da questa proposizione: e dopo procureremo di riassumere in poche parole i fatti principali che sono stati aggiunti a queste prime ricerche.

Prima di tutto intendesi che quantunque coteste correnti siano di lor natura momentanee, pure sia agevole il renderle in certo modo continue per meglio osservare i fenomeni che possono generare.

E per fermo *a* e *b* (*fig.* 431) dinotando i poli australe e boreale di una calamita comune, supponghiamo che al di sopra di questa si trovi una calamita temporanea, di cui per maggiore semplicità ne indichiamo gli estremi

inferiori m ed n, egualmente che l'asse verticale c intorno del quale possa girare, e consideriamo per esempio i fenomeni che debbono accadere nel braccio m mentre descrive una intera circonferenza partendo dalla giacitura m', e passando successivamente in m, n' ed n: da m' in m il fluido boreale del ferro dolce di questo braccio è attratto, ed il fluido australe respinto, e perciò ne risulta nel filo una corrente inversa di quella del polo australe a; da m ad n', i due fluidi tendendo a riunirsi, la corrente diviene diretta; da n' ad n il fluido australe è attratto, e la corrente è inversa di b; e per conseguenza la stessa che in n'; da n ad m' il fluido australe tende a riunirsi, e la corrente sarà diretta con b ed inversa con a; donde finalmente segue che in tutta la semicirconferenza compresa tra n ed m passando per n' la corrente del filo del braccio m procede per un verso, e che in tutta la semicirconferenza compresa tra m ed n passando per m' cammina per lo verso contrario. Quel che noi diciamo del braccio m, si applica anche al braccio n. Per aver dunque una corrente continua o presso a poco continua, basterà dare alla calamita temporanea un rapidissimo moto di rotazione, e di raccogliere solamente la corrente che si genera durante il passaggio di uno delle sue braccia per una delle semicirconferenze, comprese tra m ed n, o anche di raccogliere la corrente che si produce nelle due semicirconferenze, ma di cambiarne la direzione per mezzo di un *commutatore* (*bascule*) per farla giungere ne' corpi sopra i quali si vuol che operi.

A tutte queste condizioni soddisfece da prima il Pixli figlio in una grande magnete elettrica che fece per uso della Facoltà delle scienze; ma in poi altri costruttori han renduto lo strumento più portatile, e noi descriveremo qui quello del Clarke, il quale ha il vantaggio di produrre grandi effetti, quantunque ridotto a piccole dimensioni (1).

L'apparato di Clarke è espresso dalle figure 435 e 436: esso è composto principalmente da una calamita fissa a ferro di cavallo, di cui si vede solo una metà ac nella sezione della figura 435; innanzi a questa calamita gira una calamita temporanea mn, un braccio della quale è espresso nell'alzato, e l'altro nella sezione; le sue armature son fatte di soli 40 metri di un filo di rame che abbia almeno un millimetro di grossezza. Questa calamita temporanea s'avvita sull'asse di rotazione, il quale è posto in moto dalla gran ruota d e dalla piccola girella f sulla quale passa la corda g.

Uno degli estremi del filo che forma l'armatura comunica con l'asse h, e l'altro con una specie di ghiera i che sta isolata dall'asse: onde l'asse h e la ghiera i sono i due poli di questa nuova pila. Sul sostegno k, rappresentato in prospettiva nella figura 436, si trovano due scatole di rame r ed s piene di mercurio: quando queste due casse comunicano per mezzo del filo t, e nello stesso tempo la piccola molla x porta nella vaschetta r l'elettricità della ghiera i, egli è chiaro che i due poli della pila si troveranno l'uno sull'asse h e l'altro all'estremo del filo y. Allora ponendo sull'asse il piccolo pezzo eccentrico z, il contatto finisce quando i suoi due vertici staccansi dal filo y, e si vede balenare una vivissima scintilla in ogni semirivoluzione; per ottenere il maggiore effetto il distacco deve avvenire quando la calamita temporanea trovasi presso a poco nella giacitura verticale.

Si può anche adattare allo stromento un piccol pezzo (*fig.* 437) il quale porta un sottilissimo e molto corto filo di platino, il quale si arroventerà sensibilmente nel passar della corrente.

Si può anche adattare all'estremo dell'asse un pezzo a due punte (*fig.* 438) il quale dà bellissime scintille, quando le sue punte girando toccano il mercurio contenuto in un vaso metallico che comunichi con l'altro polo dello strumento; si può finalmente nello stesso modo accendere l'etere con molta facilità.

Per ottenere effetti chimici e fisiologici, è mestieri in vece di questa calamita temporanea porne un'altra, le cui armature sian fatte da un sottilissimo filo della lunghezza di 1500 metri. Allora al pezzo eccentrico z si sostituisce sull'asse il pezzo u (*fig* 439), il quale stabilisce la comunicazione tra i poli per una sola mezza circonferenza: in tal modo l'idrogeno e l'ossigeno si trovan separati.

Finalmente prendendo in ciascuna mano i cilindri per la scossa (*fig.* 440) dopo di averli posti in contatto coi due poli dello strumento per mezzo di fili più o meno lunghi, se ne ricevono delle scosse che riescono insoffribili quando il moto di rotazione è velocissimo.

(1) Il primo apparecchio per avere la scintilla insieme agli altri fenomeni dalle calamite fu immediatamente dopo le sperienze del Faraday ideato e fatto eseguire dal Nobili e dall'Antinori in Firenze, dopo poi comparvero successivamente gli apparecchi del Pixii, del Newman, del Saxton, del Clarke, del Dujardin, ec.

289. *Fenomeni magnetici che sembrano generarsi ne' corpi conduttori quando questi si muovono sotto l'influsso delle calamite.*—Siamo debitori ad Arago della scoperta di questi fenomeni d'induzione. Riferiremo da prima le principali osservazioni di Arago, e dopo procureremo di far conoscere come il Faraday è giunto a spiegarli.

Lo strumento che Arago ha nelle sue ricerche adoperato è dinotato dalle figure 441 a 444: *h* (*fig.* 442) è un orologio interamente di rame, tranne due o tre piccioli perni di acciaio; esso sta sopra un solidissimo trespolo di legno che si possa porre in sito verticale merce di livello. Quest' orologio è ordinato a dare un rapidissimo moto di rotazione ad un asse verticale *x* (*fig.* 442): l' asse comunica il moto ad un pezzo *tt* a tre braccia, espresso più in grande nella figura 444; sopra questo pezzo si accomodano i dischi che servono per le sperienze; essi si dispongono in centro mercè un piccol buco nel quale entra l' estremo dell'asse di rotazione, e son fermati nella circonferenza sulle braccia del pezzo *tt* da un piccol pezzo mobile stretto da una vite di pressione. Quando si voglia si potranno porre tre *ventole v*, alle quali si dà una maggiore o minore inclinazione secondo il grado di velocità che si desidera. Ora non rimane altro da fare se non che di esporre l' ago all' influsso del disco rotante. Per far questo si pone sull' orologio una tavola sostenuta da quattro piedi *pp'*, e perforata nel mezzo da un' apertura alquanto più ampia de' dischi; sotto quest' apertura s'incolla un foglio di carta *ll'* (*fig.* 442), e sulla tavola medesima si pone una campana *c* nella quale è sospeso l' ago *gg'* per mezzo di un filo di seta *f*. L' ago si può alzare o abbassare voltando per un verso o per l' altro il verricello *t*. (1).

I pesi di piombo *k* dan moto all' orologio; un bottone serve a fermarlo, ed un indice fa conoscere il numero de' giri, che può essere da 8 a 10 per ogni secondo; vi è anche un campanello che suona ad ogni cento giri, e con questo mezzo si può conoscere quando la velocità di rotazione è divenuta quasi uniforme.

Vediamo ora i fenomeni che si osservano; stando tutto in quiete, e l' ago nel meridiano magnetico, si volti il bottone di *fermata*, ed il disco si porrà in moto; la sua velocità di rotazione sarà da prima molto debole, ma tosto crescerà rapidamente, e l' ago si vedrà declinare quasi volesse seguire il disco ne' suoi ripetuti giri. Frattanto a questa forza di trasferimento si oppone in parte la forza magnetica della terra, la quale tende a rimenar l' ago nel meridiano, in modo che la ragione di queste forze determina la giacitura di equilibrio. La forza di trasferimento del disco cresce con la velocità di rotazione del medesimo onde per una debole velocità l' ago declina per 10°, per esempio, per una velocità maggiore per 20°, e si può in tal guisa regolando la velocità far fermare l' ago in tutte le direzioni oblique al meridiano magnetico da 0 sino a 90°. Ma quando la velocità è cresciuta in guisa da generare nell' ago una declinazione di 90°, non vi sarà più un punto di quiete, l' ago roterà col disco tendendo a prendere la stessa velocità di rotazione dalla quale questo è mosso. Tale è la forza magnetica ognor crescente che prendono i corpi in moto. Ecco ora quello che osservasi rispetto alla medesima.

Questa forza scema col crescere delle distanze; imperciocchè l' ago che gira con moto continuo, quando è separato dal disco solo per la grossezza del foglio di carta che chiude la campana, soffre solo alcune determinate declinazioni quando gradatamente s' inalza, le quali declinazioni rendonsi minori col crescere della distanza, restando in tutte queste sperienze comparative la stessa velocità al disco di rotazione.

Questa stessa forza genera tre componenti:

La prima è *perpendicolare ai raggi del disco*, ed è quella testè osservata.

La seconda è *perpendicolare al piano del disco*; se ne dimostra l' esistenza per mezzo di un ago verticale sospeso ad un braccio di una bilancia; questo ago è sempre repulso sia qualunque il polo che si trovi dalla parte inferiore, cioè al di sopra del disco girante, e presso la sua circonferenza.

La terza opera *nella direzione de' raggi del disco*; e se ne esperimentano gli effetti nel seguente modo: si dispone un ago d' inclinazione in guisa che sia verticale e che il suo piano di rotazione passi per lo centro del disco; allora facendolo muovere sopra uno stesso raggio, la punta dell'ago può corrispondere a tutti i punti di questo raggio o del suo prolungamento. Or quando la punta dell' ago cade al di fuori del disco, essa è respinta dal centro di rotazione; questa forza repulsiva scema con l' avvicinarsi dell' ago verso il centro, resta ad una certa distanza da questo punto, e si cangia poi in

(1) L' apparecchio si può fare molto più semplice di quello descritto dall' Autore. Io ne ho fatto eseguire uno del quale mi avvolgo anche per dimostrare le induzioni del magnetismo terrestre sul disco di rame rotante, disponendolo nel piano del meridiano magnetico.

forza attrattiva per divenir nulla nel centro anzidetto.

Onde sopra ciascun raggio del disco avvi un punto tra la circonferenza ed il centro dove la forza di cui si tratta è nulla; al di là di questo punto è ripulsiva, e dalla parte che riguarda il centro è attrattiva. Questo appunto è indicato dalla figura 443, dove le linee punteggiate indicano la direzione primitiva dell'ago.

Herschell e Babbage in un bellissimo lavoro fatto sul proposito pongono per l'azione de' diversi metalli l'ordine seguente. L'azione del rame è presa per unità.

Rame	1,00
Stagno	0,46
Piombo	0,25
Zinco	0,03
Antimonio	0,09
Bismuto	0,02

L'argento sembra dotato di molta forza, l'oro di pochissima, ed il mercurio sta tra l'antimonio ed il bismuto.

Quando un disco presenta delle interruzioni o delle fessure fatte nella direzione de' raggi, perde una gran parte di questa forza; e la scienza è debitrice al Herschell e Babbage di questa singolare osservazione, cioè che risaldando i limiti dell'aperture con un metallo qualunque, e sia anche il bismuto, quando il disco è di rame, se gli rende quasi interamente la forza perduta. Ma riempiendo solamente questi interstizi con polveri metalliche ben compresse o con liquidi, come per esempio con acqua o acido solforico, non si giunge a riparare sensibilmente le perdite sofferte.

Finalmente Herschell e Babbage hanno anche conosciuto i due seguenti fatti: 1° che le lamine di sostanze non magnetiche (cioè non magnetiche come il ferro e l'acciaio) non esercitano alcun influsso quando sian poste tra l'ago calamitato ed i dischi giranti; 2° che un disco in moto non ha alcun potere per trasferirne un altro in quiete; il che dimostra non esser il moto che decompone i fluidi magnetici, ma operar solo a render maggiori gli effetti dei fluidi già decomposti.

Barlow ha conosciuto che il ferro in moto opera come gli altri metalli, ma con forza debolissima.

Vediamo ora i principj mercè i quali sembra potersi render ragione di questi e di tutti gli altri simili fenomeni nel modo più soddisfacente.

Allorchè invece di un ago mobile sospendesi al di sopra del disco girante una calamita fissa, e molto poderosa, tosto si conosce essere il disco attraversato da correnti elettriche, la cui direzione è assai degna da notare: par che Nobili, ed Antinori abbian più compiutamente esaminate queste correnti (*Ann. de Chim. et de Phys.* t. 50. p. 580). Per maggiore semplicità ne considereremo un polo (*fig.* 445); la freccia *f*, indicando il verso della rotazione del disco, si può facilmente osservare con le due estremità de' due fili del galvanometro esservi dall' una, e dall' altra parte del polo delle correnti la cui direzione è indicata da quella delle frecce. Si vede dunque che le parti del disco che giungono sotto il polo prendon correnti opposte a quelle che costituiscono la calamita nel punto più vicino, e che al contrario le parti del disco che han passato il polo, e se ne allontanano prendono delle correnti dirette, come quelle della calamita ne' punti che son da essa meno lontani; conforme alla proposizione generale (§ 251).

S' intende ora che le attrazioni, e le repulsioni che si compongono tra queste correnti d' induzione, e quelle costituenti la calamita che qui fanno da correnti inducenti, debbono necessariamente far nascere forze capaci di far muovere le calamite, quando queste sian mobili. Allorchè in fatti si fa la compiuta disamina di queste forze, si avranno gli stessi risultamenti scoperti da Arago, e dagli altri osservatori. Per ciò che riguarda la direzione del moto, questa disamina è facile ed inutile di qui venirla sponendo: ma per quel che riguarda l' intensione degli effetti prodotti, egli è impossibile di tentarla col solo aiuto de'fatti al presente conosciuti.

Il magnetismo terrestre, non può mancare di esercitare sopra i dischi giranti un' azione simile a quella delle calamite, parecchi osservatori in fatti, hanno sperimentato le correnti che si generano nei dischi giranti, in un piano più o meno inclinato al meridiano magnetico; ma queste sperienze non sono state ancora variate e discusse, con quell' attenzione che meritavano.

Da tutto ciò segue come una conseguenza generale essere cioè, quasi impossibile di far muovere un corpo conduttore, senza far nascere in esso delle correnti d' induzione, più o meno intense, tanto per l' azione delle calamite, o per le sostanze magnetiche che possono trovarsi a questo corpo vicine, quanto per l' influsso del magnetismo terrestre che fa sua azione per tutto diffonde.

290. *Condensatore elettro-chimico di de la Rive.* — De la Rive ha con molto senno fatto tesoro delle correnti d'induzione per compor-

remmo strumento ch'ei chiama *condensatore elettro-chimico*: ecco la descrizione ch' egli stesso ne dà (*Archiv. de l'Électr.*, t.3, p.169):

» Il principio di questo strumento consiste nel fare uso di una sola coppia a forza costante, la quale deve operare la scomposizione, ad avere nello stesso tempo una corrente d'induzione ed a dirigere questa attraverso della medesima coppia per un verso tale che essa sia atta ad ossidare lo zinco ed a disossidare il solfato di rame, e l'acido nitrico. Questa corrente opererà sulla coppia, come se fosse un'altra coppia. La disposizione dello strumento, non è affatto intrigata. Esso è composto di un cilindro di ferro dolce, circondato da un grosso filo metallico coperto di seta. La corrente della coppia attraversa il filo e calamita il ferro: tosto una piccola asta di rame mobile ed armata di un' appendice di ferro è attratta dal ferro calamitato ed è perciò innalzata in modo da interrompere il circuito; nasce allora nel filo una corrente d' induzione, la quale attraversa la coppia unendosi alla corrente di questa, e rinforzandola in modo, che attraversando il voltametro che si trovava nel circuito, scompone l' acqua. Ma il ferro dolce, non essendo più calamitato, l' asta di rame ricade, il circuito metallico è di nuovo formato, il ferro è calamitato un' altra volta, e quindi rinascerà lo stesso effetto. Mercè, di questo strumento una coppia alla Grove che appena scompone l' acqua, o una coppia alla Daniell che non la scompone in modo sensibile, diviene atta a scomporla con molta efficacia. Possonsi avere da 10 fino a 15 centimetri cubici di gas in un minuto. Una coppia di puro ossido di piombo, la quale dava 9 centimetri cubici di gas in un minuto, ne dà 18 quando nel circuito s' interpone l' apparecchio. Questa stessa coppia adoperata in tal modo dà eziando molta luce con le punte di carbone.

» Nello strumento di cui ho fatto uso, vi sono tre fili di rame di 1 millimetro di diametro facente ciascuno 100 giri, e riuniti gli estremi, in modo da rappresentare un sol filo di tre millimetri di diametro facente 100 giri » (1).

291. *Delle correnti d' induzione di varj ordini.* — Abbiamo veduto che le correnti d'induzione generate dalla rotazione delle calamite possono operare tutti gli effetti che si hanno dalle correnti voltaiche; vale a dire gli effetti chimici fisici, e fisiologici; ma sarebbe un volere anticipare la conclusione dicendo che cotesti effetti hanno tra loro le stesse attenenze; perocchè le correnti d' induzione prendono talvolta molta somiglianza con le correnti delle macchine, sebbene queste finora non si possano paragonare alle prime: le vediamo per esempio dare delle scosse fortissime con effetti chimici quasi nulli. Per paragonare dunque le correnti d' induzione istantanee che non si possono agevolmente riprodurre per molto tempo, come nell' apparecchio di Carlke, è mestieri scegliere quegli effetti che sembrano più istantanei quali sono appunto la scossa, la calamitazione ed i deviamenti galvanometrici. Henry che ha fatto le più importanti ricerche intorno a' fenomeni d' induzione. (*Transactions of the american philosopical Society*, an. 1835 e seg.), ha fatto uso come prova di calamitazione di una *spirale calamitante*: essa è una spira di 30 giri stretti introdotta nel circuito d' induzione, e nella quale si pone un ago da cucire di cui si osserva la intensità magnetica: un metodo presso che simile è stato scelto da Abria, che ha fatto sul proposito anche delle importanti ricerche. Questo metodo di paragone non può certamente dare risultamenti giustissimi, ma conduce almeno ad approssimazioni delle quali è forza di contentarsi fino a che non si trovi un metodo migliore.

Supponghiamo ora che un' esperienza si apparecchi nel modo indicato nella figura 5, tavola 23 secondo è descritta in una delle memorie di Henry (*Ann. de chim.*, *1841 t. 3, p. 394*), *a* è un nastro di rame vestito di seta 30 metri lungo e 40 millimetri largo, avvolto a spira; *b*, *c*, *f* delle spire simili ma di 20 metri di lunghezza; *d* ed *e* de' rocchelli di filo di rame di mezzo millimetro di diametro coperto di seta; il filo del 1° rocchello ha la lunghezza di 1500 metri e 100 quello del 2°; *g* è la *spirale magnetizzante* che qui trovasi nell' ultimo circuito, in quello cioè della spira *f*. Supponghiamo che simili spirali si trovino negli altri circuiti. Allora se si fa passare la cor-

(1) Con tre fili ciascuno di 1mm di diametro non si viene a comporne uno del diametro di tre millimetri. È da notare inoltre, che nella interruzione del circuito rigororamente parlando si hanno due correnti indotte che vanno per lo stesso verso, una provveniente dal cessar della corrente primaria nell' elica, ed un' altra dallo scalamitarsi del ferro dolce, siccome in una nota feci notare in proposito della calamita temporaria, dall' Autore descritta.

Un effetto somigliante si ha interponendo un' elica nel circuito della macchina di Clarke di sopra descritta (V. la mia memoria intitolata *Continuazione delle ricerche sulle induzioni del magnetismo terrestre*).

rente di una pila nella spirale *a* (diremo questa corrente di *primo ordine*) si vedrà che con la interruzione si avrà una *corrente di secondo ordine* nelle spire *b* e *c*, una *corrente di 3° ordine* ne' rocchelli *d* ed *e*, e finalmente una corrente di 4° ordine nella spira *f*; si potrebbe anche seguitare.

Quando le correnti d' induzione sono generate dalla interruzione della corrente della pila la cui direzione sia espressa da +, si trova che quella di secondo ordine è +, siccome dovea essere, ma quella di terzo ordine è —; quella di quarto ordine è +; quella di quinto è —, e così appresso sempre alternando. Coteste alternative si conoscono mercè il verso della calamitazione della spirale calamitante e per le indicazioni di un galvanometro in ogni circuito interposto.

Le stesse inversioni, ma partendo dal 2° ordine, si osservano quando le correnti d' induzione sono generate non dalla interruzione del circuito primario, ma sì bene dall' apertura del medesimo.

Cotesto fatto merita attenzione; perocchè esso ci fa conoscese che una corrente d'induzione può generare un' altra corrente d' induzione; il che sembra da prima molto maraviglioso, essendo la sua esistenza così breve da avere appena tempo da mostrarsi e sparire; nel momento intanto del suo nascere deve secondo la legge comune generare una corrente inversa e nel momento in cui finisce una corrente diretta, e pure il suo cominciare ed il suo finire sono sì prossimi che queste due azioni sembrerebbe dover essere eguali da distruggersi a vicenda. S' intende che nel circuito di secondo ordine l' ago si calamita perchè si trova assoggettato ad una corrente momentanea come quella della boccia di Leida, e tutte le sperienze dimostrano che basta un momento indivisibile per eccitare magnetismo; ma era mestieri dimostrare che cotesta corrente, già per se stessa efimera, opera eziandio per induzione generando una corrente di terzo ordine. Fermato questo primo punto, il verso della calamitazione conduce ad un' altra conseguenza: poichè la corrente di second' ordine opera, egli è da presumere che operi successivamente e come corrente che comincia e come corrente che finisce, vale a dire che debba generare una corrente inversa, ed una corrente diretta; or se queste due correnti fossero eguali l' ago della spirale calamitante da prima per un verso, e poi per verso contrario, mercè azioni uguali ed opposte parrebbe che dovesse ritornare allo stato naturale: ma perchè ciò non si avvera ed il magnetismo che si ha è quello che corrisponde alla corrente inversa, sembra doversi conchiudere che questa sia più intensa della diretta, o piuttosto che cessando e nascendo non passi per gli stessi periodi. L' alternativa inversione che si osserva negli ordini seguenti dimostra che in tutt' i circuiti i fenomeni con le medesime leggi intervengono.

292. *Diverse intensità che sembrano avere le correnti d' induzione secondo che si misurano mercè la spirale calamitante, il galvanometro o la scossa.* — Henry ha per via di esperienze molto concludenti dimostrato:

1° Che la corrente *inversa* che si ha dal nascere della corrente primaria e la *diretta* che sorge col finire della stessa possono sembrare eguali paragonate al galvanometro, nell' atto che appariscono assai diverse se si paragonano mercè la scossa, riuscendo quella della seconda molto forte, e quella della prima quasi impercettibile. Diversissime riescono eziandio paragonate mercè la spirale calamitante, perocchè l' ago che non è calamitato dalla prima lo è a saturazione dalla seconda.

2° Che col variare i conduttori della corrente primaria in lunghezza o in grossezza ed accrescendo convenientemente il numero delle coppie della pila si può rendere le due correnti indotte, la diretta cioè e l' inversa sensibilmente eguali paragonate al galvanometro alla scossa ed alla calamitazione degli aghi.

3° Che la corrente diretta saggiata mercè la scossa cresce generalmente col numero delle coppie, senza che la corrente inversa riceva eguali accrescimenti.

293. *Potere delle lamine interposte tra la spira inducente e quella d'induzione.* Le lamine non conduttrici non hanno alcun potere sulle correnti d' induzione, ma non così le conduttrici; perocchè mercè la loro interposizione le scosse divengono molto più deboli, l' ago della spira calamitante riceve più poco magnetismo, e pure le indicazioni galvanometriche restano sensibilmente le stesse. Henry avendo tolto un settore da un disco di piombo e saldati da ambe le parti di sua circonferenza gli estremi di una spirale calamitante, ha trovato che l' ago si calamitava, e che la parte tolta dal disco impediva alla corrente di svolgersi per intero. Cotesta esperienza rende aperto l' effetto delle interruzioni, e fa conoscere come le fenditure alquanto grandi riducono le lamine conduttrici alla condizione delle coibenti, tanto in queste, quanto nelle sperienze del Faraday.

294. *Reazione che le correnti d' induzione*

esercitano le une sulle altre. — Questo argomento è stato trattato con abilità da Abria (*Ann. de phys. et de chim.* 1843 t 7, p. 462): Ci duole di doverci restringere qui a citare solo un piccolo numero delle sue sperienze.

Quando tre spirali piatte ed uguali *a*, *b* e *c*, *fig.* 1, tav. 23 sono sopraposte e molto vicine, se per la prima si faccia passare la corrente primaria, la corrente indotta che si eccita in una delle altre due per la interruzione non è modificata dalla presenza della terza quando essa rimane aperta; essa opera allora come una lamina non conduttrice. Ma non deve dirsi lo stesso quando è chiusa, quando cioè può ricevere la doppia azione della corrente primaria e della indotta sulla seconda. Se la corrente primaria passa per *b*, la corrente indotta di *a* diminuisce quando si chiude *c*, e *vice versa* se la corrente primaria passi per *a*, la corrente di *c* sarà molto diminuita chiudendo *b*, e *b* si trova anche sensibilmente diminuita col chiuder *c*.

Che la cosa debba andare in questo modo è di per se chiaro, potendo una corrente indotta indurre correnti alternativamente dirette ed inverse; e per fermo se *a* è la corrente di 1° ordine e *b* quella di 2°, se *c* è chiusa essa diventa anche di 2° ordine per rispetto ad *a*, e quindi reagisce sopra *b* per farne una corrente di 3° ordine, siccome reagisce *b* sopra di essa per farne eziandio una corrente di 3° ordine, e coteste azioni sono contrarie.

Dicasi lo stesso quando la corrente primaria passa nella spira di mezzo *b*.

Si pongano, come nell' antecedente esperienza, tre spirali piatte l' una sull' altra, la prima *a* composta di 24 giri di un filo di rame di 2^{mm}, 5; la seconda *b* e la terza *c* (*fig.* 2, *tav.* 23) sono composte ciascuna di tre fili di 160 metri di lunghezza di 0^{mm},64 di diametro e molto bene coperti di seta. La corrente di una coppia passi per la spira *a*, e gli effetti dell'induzione per l' interrompersi di essa si osservino su le spire *b* e *c*. Quando *c* è aperta si osserverà che la scossa rimane la stessa, tanto se si prendano gli estremi di un filo di *b*, restando aperti gli altri due, quanto se tutti e tre si prendano nello stesso tempo; e però in questo caso la sezione non ha potere sensibile: se per contro i fili si congiungano in modo da farne un solo la scossa diventerà più forte; d' onde segue che nelle condizioni dell' esperienza, l' induzione giudicata per la scossa cresce con la lunghezza del filo (1).

Le scosse di *c* diventano nulle quando si chiude *b*, e queste sono semplicemente diminuite quando si chiude *c*.

Prendendo dunque in *c* una lunghezza di due fili cioè di due volte 160 metri, *b* essendo aperta la scossa è più forte di quando si prende un filo in *b*, essendo *c* aperta; e frattanto se si chiude *c*, la scossa di *b* persiste, e se si chiude *b* la scossa di *c* svanisce.

Vuolsi per altro notare che prendendo in *c* la lunghezza totale dei tre fili si riceve ancora la scossa quando *b* è chiusa.

Abria mercè un'ingegnosa esperienza rende aperta la induzione sopra se stessa: egli prende una spirale *a*, *b*, *c* (*fig.* 3, *tav.* 23) di un grosso filo per la quale fa passare una corrente, poi mercè un filo sottile, di cui una parte *h* è avvolta a spire, fa una derivazione tra i punti *a* e *c*; la corrente derivata è scelta tanto debole da non poter calamitare un ago posto nella spira. Le cose essendo così ordinate, ei rompe la corrente in *m*, allora l' ago si calamita ed annunzia una corrente contraria alla derivata che da prima passava per la spira.

295. *Correnti d' induzione generale dall'elettricità comune.* Nell' interno di un cilindro di vetro *a* di due decimetri di diametro si avvolge a spira un nastro di stagno di 8 in 10 metri di lunghezza (*fig.* 4, *tav.* 23). Gli estremi di questa spira escono dal cilindro per due cannelli di vetro mantenuti nel suo asse e si congiungono ad una spirale calamitante; all' estremo del cilindro si avvolge un simile nastro i cui giri corrispondono a quelli del primo. Quando la scarica di una boccia di Leida *b* passa pel nastro esteriore, l' ago della spirale calamitante annuncia la presenza di una corrente d' induzione nel nastro interno; questa corrente indotta è diretta per lo stesso verso della corrente induttrice.

Un secondo cilindro di vetro preparato come l'altro ed avvicinato opportunamente al medesimo, ha fatto conoscere ad Henry che la corrente indotta di 3° ordine è in tal congiuntura diretta anche per lo stesso verso di quella di secondo ordine, egualmente che quella di 4° ordine.

(1) Bisogna distinguere nella corrente la *quantità* dalla *tensione*: quest' ultima cresce con la lunghezza del filo ed è indicata meglio da un galvanometro a filo lungo, la prima cresce con la sezione ed è meglio indicata da un galvanometro a filo più corto. La scossa si ha meglio a filo lungo; la scintilla si ha più brillante a filo grosso. Di qui l' origine delle due armature nell'apparecchio di Clarke, insieme con molte applicazioni che dallo stesso principio derivano. Ho avuto nelle mie ricerche molte volte occasione di osservare fenomeni somiglianti, i quali dipendono dalla teoria di Ohm ossia dalle leggi delle correnti esposte nel cap. VI.

Ma quando Henry ha studiato le correnti de' diversi ordini facendo passare la scarica della boccia di Leida nella spira della figura 5, egli ha ravvisato le stesse alternative di direzioni che avea osservato con le correnti della pila. Presumendo allora che la direzione potesse cangiare con la distanza, egli ha studiato sopra i nastri paralleli le correnti della boccia di Leida, ed ha fatto conoscere che la corrente indotta ha la stessa direzione della inducente per distanze minori di 4 in 5 millimetri, che diviene nulla ad una distanza alquanto più grande, e ad una distanza maggiore cangia direzione.

Quando un foglio di stagno incollato sopra una lamina di vetro presenta delle interruzioni, spesso interviene che la scarica di una batteria alza e ripiega i suoi estremi che son di riscontro siccome è espresso dalla figura 26. Henry pensa esser questo un effetto dell' induzione sopra se stessa.

Adagiandosi sopra i fatti che abbiam riferiti e sopra altri che si trovano pur contenuti tra le sue ricerche, Henry propone una teorica che mi duole di non poter qui esporre, perocchè essa si adagia sopra considerazioni le quali, se non sono evidentissime, sono almeno molto ingegnose.

NOTA.

Sulle induzioni del magnetismo terrestre.

Quantunque le correnti d'induzione del magnetismo terrestre fossero state scoperte dal Faraday nel 1831, e fossero così certe come quelle delle calamite, non di meno il Pouillet ne parlava fin dalla terza edizione come di cose poco studiate. E pure le sperienze del Nobili e dell' Antinori, dei Gauss e del Weber, del Barlow, del Jacobi, del Botto e di tanti altri, poteano essere secondo io mi penso bastanti a mostrare che le induzioni del globo son governate da' medesimi principî, onde le induzioni delle calamite procedono. Vero è che in quel tempo le correnti d'induzioni tellurica si addimostravano solo col galvanometro (1), ma non per questo esse erano mal sicure. Questo quasi dubitare del Pouillet (*V. cap. V. cagioni fisiche delle correnti*), mi fecì venire il desiderio di ripetere l' esperienze ch'eransi fatte sul proposito e poi l'altro di continuarle. Dirò dunque qui brevemente i principali risultamenti che ho ottenuti. Prendasi un filo di rame coperto di seta e si adagi ad elica sopra un cilindro di legno o di cartone, collocato in una giacitura che presso a poco corrisponda a quella dell'ago d'inclinazione, e fatti comunicare gli estremi fili co' capi di un galvanometro, si rovesci da nord a sud, per esempio, e si vedrà l'ago deviare e tosto ridursi a zero. Per un'intera rivoluzione vi son quattro correnti due delle quali vanno per un verso e due per un altro appunto come si è avvertito per l' apparecchio di Clarke. Quantunque questa maniera di muover l'elica par che sia la migliore, pure conducendola in qualunque di quelle giaciture nelle quali un ferro dolce divien calamitato dall'azione della terra, o rimuovendonela, sempre si avranno delle correnti la cui direzione si può prevedere coi principî generali della scienza. Se nel cilindro di cartone di cui di sopra è detto s' introduca un ferro dolce le correnti cresceranno di forza, serbando le stesse direzioni, e questo deriva dalle induzioni provenienti dal subito calamitarsi e scalamitarsi del ferro introdotto nell'elica, siccome è di per se chiaro. Laonde nel primo caso le correnti sono di pura e sola induzione tellurica e nel secondo provengono anche dal magnetismo del ferro. Dirò le prime d'induzione *immediata* e le seconde in parte d' induzione *mediata*. Se si volessero correnti di sola induzione mediata si potrebbe averle in varie guise; ma il modo più semplice sembrami esser quello di fermare l' elica anzidetta nella giacitura di sopra indicata e quando l' ago del galvanometro è a zero tirar fuori il ferro, la corrente indicata dal galvanometro in questo caso è tutta d' induzione mediata. Introducendo il ferro se ne avrebbe un' altra dello stesso genere ma per direzione contraria (2). Il Nobili e l'Antinori per quanto

(1) Il mio egregio amico Cav. Botto soccorrendo le correnti indotte dal magnetismo del globo con quelle indotte dal magnetismo di posizione del ferro, era pur riuscito ad avere in certo modo la scomposizione dell'acqua, siccome avvertì già in altra mia memoria, ed il Cav. Antinori ottenne lo stesso fenomeno dalla grande spirale del Museo di Firenze. Chi ha saputo leggere le mie memorie su questo argomento avrà potuto vedere che io ho citato tutt' i lavori antecedenti in ragione che mi sono giunti a notizia; basta dire che ho citato per fino certe miserie del Zantedeschi, autore di menzogne e di libelli. Io dunque non ho usurpato nulla e son pronto a rinunziare a tutto quel poco che ho fatto, quando alcuno mi dimostri di avermi preceduto. Ma la menzogna disonora il mendace e fuori della malevoglienza non dimostra altro.

(2) Se tolta la calamita dall'apparecchio di Clarke e collocata l'armatura nel meridiano magnetico la si faccia muovere interponendo il galvanometro nel circuito, si avranno correnti di sola induzione mediata perocchè i due gomitoli di filo di rame

mi sappia fecero più gran numero di esperienze particolarmente con le spirali senza ferro: essi trovarono che le correnti crescono crescendo il diametro de' fili e quello dell'eliche; per cui ne fecero una di dieci piedi e mezzo di diametro composta di filo di rame che aveva il diametro $\frac{7}{4}$ di linee, avvolto in 30 giri sopra un cerchio di legno Questi abili sperimentatori credettero che le correnti crescessero anche con la lunghezza dei fili, ma solo fino ad un certo limite Fattomi a ripetere da prima le sperienze di costoro, mi avvidi che bisognava distinguore la quantità dalla tensione, per cui quel limite era solo apparente, come quello che veniva indicato da un galvanometro a filo corto. Feci in quella occasione parecchie altre ricerche intorno alle leggi di cosiffatte correnti con le spirali senza ferro; studiai gli effetti de' perimetri, delle superficie, ec. ma non sempre mi curai di giungere a valori numerici, perchè tendea ad ottenere que' fenomeni de' quali sarà tra poco discorso; ottenuti i quali sonomi poi rivolto un poco più accuratamente a studiare con maggiore precisione la parte teorica di cui darò quanto prima la esposizione. Siccome i tentativi del Nobili e dell'Antinori per avere la scintilla erano riusciti vani, così non osava reputarmi più fortunato di loro, seguitando lo stesso cammino. Per la qual cosa pensai di giovarmi dell'aiuto del ferro dolce introdotto nell'eliche, e siccome la forza induttiva del magnetismo temporario del ferro in questo caso non si estende a grande distanza, così non si potea con una sola elica avere correnti molto forti; fu allora che pensai a comporre una batteria di più eliche o elementi uniti insieme (1). Quando io poneva in atto questo povero concetto, fui premurato ad associare al mio lavoro il P. Linari per recargli un sollievo trovandosi infermo degli occhi e fuori della sua patria: ed eccomi socio del P. Linari nel recare a compimento la ideata batteria, dalla quale successivamente si ebbe la scossa, la scomposizione dell'acqua e la scintilla (2). Terminata la batteria mi separai dal P. Linari, e volli esser solo un'altra volta come era da prima, e così ciascun di noi rimase libero. Passato qualche tempo, ritornai sullo studio delle correnti ottenute dalle spirali senza ferro, perchè mi parea che quella batteria non dimostrasse perfettamente i fenomeni delle induzioni del magnetismo terrestre, essendo le sue correnti miste d'induzione immediata e d'induzione mediata. Facendo così delle sperienze comparative giunsi a vedere non solo la possibilità, ma dirò pure la facilità di avere la scintilla con semplici spirali di rame senza ferro, e così feci eseguire il mio *nuovo apparecchio d'induzione tellurica* di cui darò qui la descrizione, rimettendo il lettore alle diverse memorie pubblicate sul proposito. Non credo necessario il ricordare che il P. Linari, trasportandosi con la immaginazione, credette che ogni mio lavoro dovesse essere comune ad entrambi, senza distinguere quelli che si erano fatti prima e dopo della società, da quelli che si erano fatti quando essa sussisteva; e ci volle la sapienza del Zantedeschi per dire tanti spropositi e tante bugie, alle quali non mi son data nè mi darò giammai la pena di rispondere; perchè le memorie pubblicate per le stampe dicon tutto, e le invereconde pagine de' bugiardi mi fanno compassione (3). Sarò solo costretto in altra occasione di pregare il Zantedeschi a leggere gli altrui lavori con un po-

essendo allora perpendicolari al meridiano magnetico non possono ricevere immediata induzione dal globo ma la ricevono puramente dalla lamina di ferro che gli tiene congiunti. In sulle prime pensai di giovarmi di un somigliante ripiego per accrescere la forza degli elementi della batteria, ed ancora conservo un elemento grande fatto in questo modo, ma giustamente rifiutai a me stesso un tale ripiego, perchè trattavasi di provare i fenomeni che il magnetismo terrestre direttamente può dare. Con maraviglia ascoltai poi che vi fu chi avendo fatta questa osservazione con l'armatura dell'apparecchio di Clarke, gridava alla scoperta ed alla novità [...].

(1) V. La memoria del 1840 inserita nel *Progresso* e negli *Annali* di Majocchi. Fino a che questa non si distrugge, la logica del Zantedeschi resterà infranta dalla fermezza de' fatti.

(2) V. Il Rendiconto ec. n. 17.

(3) Chi non volesse darsi la pena di leggere le mie memorie potrà, leggere la *Relazione storica ed analitica sulle correnti elettriche indotte dal magnetismo terrestre e sugli ultimi fatti comunicati all'Accademia delle scienze dal professore L. Palmieri, Napoli* 1845, letta dal Cav. Macedonio Melloni alla R. Accademia delle scienze di Napoli in nome della Commessione di cui facea parte. Di questa si dichiarò contento anche il P. Linari. Essa fu letta innanzi a quella stessa Accademia che aveva ricevute tutte le comunicazioni sul proposito. Per la qual cosa in tal congiuntura non solo un Melloni uomo di specchiata onoratezza, ma per fino un Zantedeschi avrebbe dovuto dire la verità parlando proprio innanzi a soli testimoni dei fatti. Del resto il Zantedeschi sogna sempre usurpazioni e non trovando chi vuole difenderlo ricorre agli autori de' lunari, la cui veracità è proverbiale (*V. il Farbanera del 1840*).

co più di attenzione per capirli prima di giudicarli, particolarmente quando si voglia parlarne in un TRATTATO scientifico; perocchè gli mostrerò di aver preso degli svarioni imperdonabili ad uno scolaretto.

Ecco dunque la descrizione del mio nuovo apparecchio da cui si hanno tutt' i fenomeni che abbiamo osservati provenire dalle induzioni delle calamite.

a b (*fig. 1. tav. 4 agg.*) è un telaio di legno di figura ellittica, sul quale è adagiato il filo di rame vestito di seta. Gli estremi capi del filo vanno a terminare nell' asse di rotazione, e propriamente uno in un anello di ottone cui è unito il disco di ferro *l* (*fig.* 3), e l' altro con l' asse interno *p*, rimanendo questi due pezzi metallici separati da un anello cilindrico di avorio o di legno. Il disco con l' anello metallico che gli è dietro l'asse metallico *p* sono i due poli dell'apparecchio.

Lo zoccolo di legno *A* (*fig.* 2 e 3) che sta in mezzo a due pezzi metallici messi in comunicazione mercè il ponticello di rame *d*, la colonnetta di ottone *s* terminata dalla molla di rame *v*, non che la molla di pressione *r*, sono ordinate come nell' apparecchio del Clarke.

Lo zoccolo *A* delle figure 2 e 3 è collocato sulla tavoletta *h* della figura 1.

Il telaio *a b* si fa girare intorno del suo asse mercè una ruota dentata ed un rocchello. Nella figura si vedono due ruote, ma una la feci porre per cautela nel caso che avessi bisogno di maggiore velocità, potendosi il manubrio *m* adattare alla prima o alla seconda ruota ed anche immediatamente all' asse.

Il filo di rame coperto di seta è grosso un millimetro e mezzo e fa 210 giri disposti in sette ordini.

Si può questo filo rimanere a quando a quando interrotto ed unirne poi i capi l' un dopo l' altro in modo da farne un solo, siccome m' è accaduto tante volte di fare: in questo caso i fili possonsi anche unire in modo simile a quello che nella batteria dissi *di quantità*, il che costituisce un' elica moltiplice che per effetto corrisponde ad una semplice il cui filo abbia la grossezza quanto la somma di tutti quelli della spirale semplice. Quando si fa uso del ferro poi, le molte spirali sono necessarie, ma debbono essere tante per quanti sono gli elementi: riunire più spirali sopraposte allo stesso elemento è cosa inutile o nociva, siccome ricavasi dal raziocinio e dall' esperienza. Quando la prima volta composi la spirale che ora descrivo, la rimasi interrotta a quando a quando e poi ne unii diversamente i capi, ma siccome vidi che quando gli univa in modo da formare un solo filo, avea effetti migliori, così saldai definitivamente tutt' i capi. Ecco dunque a che riducesi la quistione delle spirali sopraposte adoperate già da Faraday e poi da me e da Linari, siccome può vedersi dalle varie scritture pubblicate sul proposito (1).

Collocato l' apparecchio in modo che l'asse di rotazione sia perpendicolare al meridiano magnetico e messo sull' asse *p* un pezzo eccentrico come nell' apparecchio del Clarke, se si prendano con le mani bagnate di acqua salata o acidolata i due manubri *k,k* di ottone, uno de' quali comunichi con l' asse *p* ed un altro col metallo dello zoccolo, si avrà la scossa. Se in vece de' due manubri si prendan due lamine e si tuffino in due vasi di vetro pieni di acqua acidolata o salata e poi s' immerga un dito in ciascun di questi vasi la scossa si avrà anche più spiccata.

La scomposizione dell' acqua si ha anche come nell' apparecchio del Clarke (*fig.* 2): volendo i gas separati si deve porre sull' asse *p* un commutatore.

La scintilla si può avere in tre modi: uno è quello dinotato dalla figura 3, dove un filo di ferro introdotto nell' asse si porta a contatto col disco di ferro *l* in cui vi sono due larghe fenditure. Il secondo modo di avere la scintilla è quello dinotato dalla figura 4, il quale consiste nel porre all' estremo dell' asse *p* una stelletta di ottone a due punte le quali passano nel mercurio contenuto in una coppa che comunica col metallo dello zoccolo. L' ultimo modo finalmente consiste nel porre sull' asse *p* un pezzo eccentrico a due interruzioni sul quale preme la molla di rame *v* indicata nella figura 2, nel modo stesso che si usa per la scossa.

Chiunque conosce l' apparecchio del Clarke non ha bisogno di altra spiegazione.

CAPITOLO IX.

TELEGRAFI ELETTRICI — VELOCITA' DELL'ELETTRICITA' — VELOCITA' DE' PROJETTILI DELLE ARMI DA FUOCO.

§. I. *Telegrafi elettrici.*

296. La telegrafia elettrica è una pruova manifesta della rapidità con la quale le grandi scoverte si svolgono nel nostro secolo. Galvani nel 1789, Volta verso il 1800, Oersted nel 1820, hanno sussecutivamente scoverto i

(1) V. L' Omnibus n.° 47, 1841.

principii primordiali, ovvero i dati fondamentali su i quali questa nuova maniera di comunicazione si fonda; in seguito la teoria dell' elettro-magnetismo è stata stabilita sovra solide basi; le leggi della propagazione e della intensione delle correnti elettriche sono state dimostrate con l' esperienza, e la possibilità delle comunicazioni a grandi distanze si è, dopo ciò, presentata allo spirito di parecchi dotti, non più come un' idea vaga, la cui primitiva origine potrebbe essere rivendicata dall' elettricità ordinaria, ma siccome una verità acquisita, una verità pratica, le cui principali condizioni potevano essere anticipatamente determinate e calcolate. Parecchi fisici si sono studiati a realizzarle, ed oramai, quasi in tutti i paesi dotti dell' Europa e dell' America, si trovano telegrafi elettrici di differenti sistemi, che pongono in un contatto quasi immediato d' idee città o regioni separate da grandi distanze.

Pochi anni sono stati sufficienti perchè la teoria avesse ricevuta dalla pratica l'infallibile e luminosa sanzione, sulla quale con ogni dritto doveva essa contare.

Proccurerò dar qui un' idea de' principali congegni de' quali si fa uso per la risoluzione di questo grande problema, il quale di giorno in giorno prende un maggior grado d' importanza.

Poniamo, in principio, da banda il numero e la natura de' segni necessarii a prodursi per potersi parlare alla distanza di cento leghe, in quella maniera come si stesse a pochi passi distante, e cominciamo dal far intendere come avvenga che, con l' ajuto di così maravigliosa forza, alzando un dito a Parigi, si possa scuotere a Brest o a Marsiglia, una massa considerevole ed imprimerle all'istante un moto regolare di *va e vieni*.

La fig. 6, tav. 23 rappresenta in *a* l'elemento d' una pila, ed una calamita temporanea in *b*, il cui filo per mezzo de' suoi estremi comunica con i due poli *p* ed *n* della pila. Stabilita una sola comunicazione e l' altra rimasta libera non vi sarà corrente sviluppata nè magnetismo, ma stabilita eziandio la seconda comunicazione, col toccare soltanto con l' estremità *x* del filo il polo *n* della pila, all'istante passa la corrente, e la calamita temporanea prende tutta la sua forza; rotto il contatto, la calamita temporanea perde la sua forza, ristabilitolo la riprende; ed in questo modo operando si può dare o togliere alla calamita la sua forza 2, 3, 10 volte in un secondo, se in questo tempo si può stabilire o rompere 2, 3, 10 volte la comunicazione per dar passaggio alla corrente.

Di rincontro alla calamita elettrica si trova l' ancora o il pezzo di ferro *c*, annesso ad una leva di legno *dl*, mobile intorno all' asse *d*; una piccola molle *r*, agente su questa leva la mena sull' ostacolo *s*, o le permette di correre sino a l' altro ostacolo *s'*, secondo che vi sia intermittenza o pure passaggio di corrente; il ferro *c* nel suo massimo allontanamento si trova, per esempio, ad un millimetro di distanza dai poli della calamita, e nel suo massimo avvicinamento in *s'*, il ferro non deve giungere a toccare i poli, poichè altrimenti vi resterebbe in certo qual modo aderente, e ciò nuocerebbe alla libertà e alla rapidità dei moti della leva. Allorchè passa la corrente, la leva tosto si spinge innanzi e va a battere in *s'*, trascinata dall' attrazione viva e celere che i poli della calamita elettrica esercitano sul ferro *c*; quando la corrente è interrotta, la leva torna subito in dietro e viene a battere in *s*, trasportata dall' azione della sola molla, essendo che il ferro finisce d'essere attratto. In questa maniera appunto la leva esegue un moto di *va e vieni* o di vibrazione tra i suoi termini *s* ed *s'*, a conseguire il quale basta stabilire e interrompere il passaggio della corrente; e questo moto sarà 10 volte ripetuto in un secondo, se in questo tempo si possa per 10 volte stabilire ed interrompere le comunicazioni della pila.

Il più delle volte si dà alla leva la disposizione indicata dalla fig. 7; l' asse di rotazione è in *d*, i due ostacoli sono tuttavia in *s* ed *s'*, ma la molla *r* sta all' altro estremo, e consiste in una lamina d'acciajo più o meno rigida, che più o meno si stende per mezzo della vite *v*.

Ricordandosi ora che una calamita temporanea può aver tutti i gradi di forza, e che, secondo le sue dimensioni e l' intensione della corrente che la sollecita, può avere appena la forza sufficiente per attirare e menar seco un peso di pochi grammi, o può esser capace d' attirare e mettere in moto de' pesi di parecchie centinaja di chilogrammi; s'intenderà che l' anzidetto moto di *va e vieni* può applicarsi sia a leve leggiere e dilicatissime, sia a leve composte di masse considerevoli; o, in altri termini, questa forza elettromagnetica, così facile ad essere prodotta e distrutta, è così atta a mettere in moto il pesante martello d'un fabbro, come a muovere il dilicato martello d' un oriuolaio.

La rapidità poi con la quale il moto di *va e vieni* si esegue, dipende in parte dalle masse che sono in opera, perchè vi necessita maggior tempo per iscuotere una grande massa che una piccola, ma dipende sopratutto dalle

masse e dalle qualità del ferro o dalla buona proporzione della molla. In effetti se il ferro della calamita temporanea o quello dell'ancora sono di tal natura da prendere facilmente una forza coercitiva, non basta più far cessare la corrente perchè la forza magnetica cessi, perchè al contrario essa persiste con una certa energia, e la forza della molla diviene insufficiente ad imprimere istantaneamente alla leva il suo moto in dietro; in tal caso la interruzione delle comunicazioni non deve aver troppa breve durata, correndo il rischio di vedere la leva rimanere immobile, perchè attaccata alla calamita, come se la corrente non avesse cessato d'operare. Parimente se la molla fosse troppo resistente e quasi in uno stato da controbilanciare la forza attrattiva della calamita col ferro *c*, la leva potrebbe rimanere aderente alla molla, a meno che il passaggio della corrente non si prolungasse per un tempo sufficiente. Tenendo conto di questi dati, non è difficile il costruire de' congegnamenti ne' quali il moto di *va e vieni* si ripeta 5, 10 e sino a 20 volte a secondo.

Coteste condizioni soddisfatte, il moto della leva si esegue con una regolarità paragonabile a quella del pendolo; solo conviene che l'apparecchio sia in guisa tale disposto che le comunicazioni delle pile sieno esse pure stabilite ed interrotte con grande regolarità; e uno dei mezzi di conseguire questo scopo, si è quello di adoperare una ruota simile a quella della fig. 469.

Può dunque dirsi, come abbiamo innanzi annunziato, che col soccorso della corrente elettrica si possa agevolmente generare un moto energico, rapido e regolare; ci rimane solo a sapere sino a che distanza può un tal moto comunicarsi.

Nel capitolo VI abbiamo formolate le leggi secondo le quali l'intensione della corrente diminuisce a misura che la lunghezza del circuito aumenta; in virtù di coteste leggi un filo di rame di 3 millimetri di diametro, per esempio, indebolisce la corrente 900 volte meno che un filo della stessa lunghezza e dello stesso metallo di $\frac{1}{10}$ di millimetro di diametro, e quindi 900 000 metri, ovvero 225 leghe del primo, non la indeboliscono più che 1000 metri del secondo; ma l'esperienza dimostra che un circuito composto di 1000 metri di questo secondo filo dà pure degli effetti molto energici, anche con una pila debole ed una calamita di poca forza: dunque un circuito di 225 leghe fatto con un filo di 3 millimetri darà degli effetti molto energici, e ciò ottiensi senza ricorrere a pile di molta forza e a calamite temporanee di grandi dimensioni; dunque, finalmente, se tra due luoghi distanti per 112 $\frac{1}{2}$ leghe si fendono due fili di rame di 3 millimetri di diametro, che non si tocchino lungo il loro camino, che nel secondo luogo vadano a metter capo ai due estremi del filo d'una calamita temporanea, e che, nel primo, si congiungano con i due poli d'una pila, si potrà, stabilendo ed interrompendo quivi le comunicazioni, imprimere colà, nel secondo luogo, un moto di *va e vieni* rapido e regolare alla leva della calamita temporanea che colà si trova; imperocchè la corrente non avrà da percorrere se non che un circuito di 225 leghe d'un filo di rame di 3 millimetri di diametro, più le due resistenze della pila, cioè, e del filo della calamita, le quali possiamo disprezzare. È in questo modo appunto, come innanzi dicemmo, che, alzando l'estremo d'un dito a Parigi, si potrebbe all'istante far suonare la più grande campana di Brest o di Marsiglia; essendosi le dimensioni al filo assegnate prese in quel modo, solo per fissar le idee e andare innanzi col ragionamento.

Tale si è il principio fondamentale della telegrafia elettrica.

Passiamo ora a mettere in rassegna i particolari dell'esecuzione pratica: facendo, dapprima, conoscere i mezzi adoperati per istabilire il filo o il circuito, ed esponendo i diversi sistemi di apparecchi valevoli a generare la corrente, e quelli con che i segni della corrispondenza si eseguono.

Circuito. — De' pali di legno solidamente infissi su i margini d'una strada ferrata, distanti tra loro per 20 in 30 metri, sostengono ed isolano il filo, all'altezza di 2 in 3 metri dal suolo, ed all'altezza di 7 metri, sia quando il filo passa da un fianco all'altro della strada, sia pure quando attraversa una strada comune. Su i pali son fissate delle lamine isolanti, di porcellana o di terra cotta, fabbricate in varie guise, sulle quali passa il filo e che son protette dalla pioggia mercè piccole tettoje di zinco; imperocchè se mai avvenisse che i pali fossero bagnati, ed insieme con essi i sostegni isolanti eziandio, l'isolamento sarebbe imperfetto, nuove correnti derivate si formerebbero, e occorrerebbero delle pile molto più forti per conservare alla corrente una intensione sufficiente. Di 500 in 500 metri si trovano de' pali di maggiori dimensioni, che s'addimandano *pali di stiramento* (*poteaux de traction*), su i quali trovansi stabiliti de' verricelli isolati, valevoli a stendere il

filo ed a prevenire le soverchie inflessioni che potrebbero formarsi tra due pali ordinari, se il filo fosse troppo rallentato. Quando il circuito è dell' intutto metallico, vi occorrono un filo di andata ed un altro di ritorno, e questi due fili non debbonsi nè toccare nè aver comunicazioni indirette tra loro; essi vengon sostenuti dagli stessi pali, ma i loro sostegni isolanti in ciascun palo trovansi collocati l' uno al di sopra dell'altro alla distanza di 30 in 40 centimetri, o pure alla medesima altezza ma ai due estremi d'una lunga caviechia che passa a traverso del palo. In alcuni casi molto rari possono solo esser necessari due fili metallici, ma in generale un solo è sufficiente, ed il suolo può, con vantaggio, esser sostituito al secondo; poniamo in effetti, che tra le due stazioni *p* ed *r* (*fig.* 18) rappresentanti, per esempio, Parigi e Roano, siasi disteso un sol filo *ab*; che il polo positivo della pila, a Parigi, comunichi con l'estremo *a* e il polo negativo vada immerso nella Senna; che, a Roano, la calamita temporanea comunichi da una parte con l' estremo *b*, e dall'altra con la Senna, egli è vidente che l' acqua del fiume farà le veci del secondo filo, e che la corrente, dopo essersi propagata da Parigi a Roano a traverso il filo metallico, ritorna da Roano a Parigi propagandosi per attraverso l' acqua della Senna, che completerà il circuito; e per contrario, se il polo positivo della pila è quello che pesca nella Senna, ed il polo negativo quello che si congiunge al filo, la corrente andrà per la Senna e ritornerà pel filo. Egli è vero che, secondo le mie sperienze (§ 270), la conducibilità del rame è circa due mila milioni di volte maggiore di quella dell' acqua, e che la sezione del filo non essendo due mila milioni di volte più piccola della sezione della Senna, vi sarebbe disvantaggio nel sostituire la Senna al filo; ma l'acqua della Senna non è al certo racchiusa in un canale non conduttore, che anzi il canale che la contiene, e meglio il suolo che la circonda sino a grandissime distanze, è, per contro, esso stesso umido e conduttore, così che l' enorme sezione del suolo fa più che compensare la sua minore conducibilità, e che, in ultima analisi, il circuito composto dal filo e dal suolo dà una corrente più intensa di quella del circuito composto da due fili. Ecco quanto era stato dalla teoria indicato, e confermato quindi dal fatto. Del resto s' intende che, solo per fissar le idee, abbia io supposta la communicazione della pila di Parigi, e della calamita temporanea di Roano con le acque della Senna, e che ciò non sia del tutto necessario; basta stabilire le communicazioni attraverso un suolo umido o l' acqua d' un pozzo, perchè l' elettrico saprà ben' esso trovare il legame, indiretto e nascosto a noi, che esiste tra i pozzi di Roano e di Parigi, ed il suolo umido del bacino della Senna.

Taluni fisici, ammettendo le spiegazioni da me ora esposte, conservano tuttavia qualche dubbio sulla possibilità di stabilire per mezzo del suolo, parecchie comunicazioni di telegrafi vicini, senza incorrere nel rischio d' una confusione; ecco i principî mercè i quali si può riconoscere in quali casi cotesti dubbi possano essere legittimi ed in quali no. Immaginiamo; che, dopo disposte le cose con un sol filo, come si è detto, tra Parigi e Roano, si distenda dall' una all' altra di queste stazioni, un secondo filo *a'b'*, simile al primo, isolato come quello, e i cui estremi vadano immersi, sia nella Senna, sia ne' pozzi che servono al primo circuito, ed esaminiamo qual parte deve prendere nel passaggio della corrente questo secondo filo. Abbiam veduto (§ 259) in che maniera si formino le correnti derivate, e come si possa determinarne la intensione, mercè le leggi fondamentali risultanti dalle mie sperienze: posto ciò, se avvenga che il suolo non conduca meglio del primo filo, la lunghezza del circuito da esso rappresentata è uguale alla lunghezza di questo filo, e la interposizione del secondo filo raddoppiando la conducibilità, l' intensione si dividerà egualmante tra esso ed il suolo; ma se avvenga, per contro, che il suolo conduca, per esempio, 100 volte meglio del primo filo, la lunghezza del circuito che esso rappresenta non è più se non il centesimo della lunghezza totale del circuito, e la derivazione che allora si forma tra i due punti che si trovanò *elettricamente* così ravvicinati, non può più prendere se non una intensione debolissima e quasi insensibile. Tutto ciò si determina rigorosamente con le formole generali da noi discusse (§ 259), e nelle quali basta sostituire i dati dell' esperienza. Vedesi dunque che l' intervento del secondo filo dipende dalla conducibilità del suolo, ed in una maniera precisa e matematica.

Supponiamo ora che si faccia uso del secondo filo, come si fa egualmente uso del primo, vale a dire che quello sia in comunicazione con una seconda pila ed una seconda calamita temporanea, e vediamo in quali casi cotesti due differenti sistemi telegrafici potranno, senza nuocersi, agire insieme. Ciascuno di questi fili facendo, rispetto all' altro, le veci d' una corrente derivata, ciascuna pila farà

muovere le due calamite: se queste correnti derivate abbiano una intensione sensibile, vale a dire, se il suolo sia molto cattivo conduttore, allora l'azione distinta e simultanea de' due sistemi sarà impossibile; per contro, essa sarà possibile e si farà senza confusione alcuna, se il suolo sia tanto buono conduttore, che le correnti derivate non abbiano alcuna intensione sensibile. Tutto dunque si riduce a riconoscere anticipatamente la conducibilità del suolo, e ciò è agevole a conseguirsi mercè le bussole delle quali ho fatto uso per stabilire le leggi dell'intensione, e che trovansi descritte al paragrafo 265. Potrebbonsi incontrare dei suoli meno conduttori di quello tra Parigi e Roano; e può dirsi *a priori* che ciò ha veramente luogo ne' paesi di montagna, e sopratutto in quei punti che trovansi lontani da bacini idrografici; ma pare che tra Parigi e Lione, per esempio, la comunicazione debba essere ottima, perchè si stabilirebbe per mezzo del Mediterraneo, dell'Oceano e della Manica: lo stesso può dirsi per quella tra Parigi e S. Pietroburgo, che si farebbe a traverso la Senna, il Baltico e la Newa.

Elettromotori. — Per generar la corrente ne' circuiti telegrafici, si può mettere in opera indifferentemente una qualunque delle pile da noi descritte, o anche un apparecchio d'induzione, proporzionando sempre la forza dell'elettromotore alla lunghezza del circuito, e alla sensibilità delle calamite temporanee che eseguono i segni. Per menare innanzi il servizio tra Parigi e Roano sono bastevoli 6 in 8 elementi ordinari di Bunsen.

Segni telegrafici. I diversi mezzi escogitati per la esecuzione de' segni riduconsi, in generale, ai tre sistemi de' quali passiamo a discorrere: *telegrafo a quadrante, telegrafo ordinario, telegrafo scribente.*

297. *Telegrafo a quadrante.* Alla stazione ove giunge il dispaccio trovasi un quadrante rappresentato dalla fig. 9, sul quale stanno scritti parecchi segni, le lettere dell'alfabeto, per esempio; un indice il cui asse va messo nel centro del quadrante è messo in moto dalla corrente elettrica, e si ferma per un istante su quello di cotesti segni che è il primo trasmesso, poi va a fermarsi sul secondo, quindi sul terzo, ec., indicando così, a colui che riceve il dispaccio, la serie de' segni che lo compongono, e che egli dovrà scrivere a misura che vengono esibiti. Il moto dell'indice si esegue nella seguente maniera: il suo asse è munito d'una ruota a scappamento *a*, che ha un numero di denti metà di quello delle lettere o de' segni inscritti sul quadrante; questi denti, tagliati a piano inclinato, sono alternativamente urtati dalle due cavicchie *b* e *c* del pezzo *d*, il quale riceve dalla calamita temporanea un moto rapido di *va e vieni*, sia che questo pezzo formi esso stesso la leva dinanzi detta, sia pure che da questa dipenda mercè particolare meccanismo. Quando, per esempio, la cavicchia *c* s'avvicina al centro, essa incontra il piano inclinato del dente e costringe la ruota a girar per lo spazio d'un mezzo dente, e con ciò l'indice salta da una lettera alla seguente; parimente quando *b* viene al centro essa fa pure saltare un mezzo dente nello stesso senso, e per conseguenza ogni mezza oscillazione di *d* o della leva della calamita fa che l'indice sormonti l'intervallo d'un segno. Abbiam veduto che la leva fa una mezza oscillazione quando la corrente passa per la calamita, un'altra mezza oscillazione quando la corrente non passa, e che perciò è possibile farle eseguire 10 in 12 mezze oscillazioni in 1''. Ecco intanto la maniera onde eseguire cotesta operazione. Quegli che invia il dispaccio tiene innanzi a se un quadrante di metallo rappresentato dalla figura 8, sul quale sono incisi nello stesso ordine gli stessi segni di quello della figura 9, ma in quello della *fig.* 8 la circonferenza è divisa in tante parti eguali per quanti sono i segni, e su tutte le divisioni impari s'incastra una lamina d'avorio come corpo non conduttore. Una molla *a* comunica con uno dei poli della pila ed è in contatto permanente con questa circonferenza, metà conduttrice e l'altra metà non conduttrice, e l'asse del quadrante comunica in *b* col filo conduttore teso tra le due stazioni, mentre l'altro polo comunica o col suolo o col fondo del pozzo che lo sostituisce. Da ultimo v'ha un ostacolo fisso *d* ed una caviglia *c* che s'adatta di rimpetto a quello dei segni che si vuol trasmettere, in guisa che, perchè il segno apparisca sul quadrante (*fig.* 9) dell'altra stazione, basta far girare il quadrante (*fig.* 8) mercè la caviglia *c*, e tanto finchè la caviglia non giunga in *d*. E per fermo i due quadranti 8 e 9 della stazione di partenza e di quella d'arrivo son d'accordo, cioè che se il zero del primo è di rincontro all'ostacolo *d*, l'indice del secondo trovasi pur esso sul zero: se la caviglia *c* si va a fermare con la mano sul decimo segno, e quindi rapidamente e regolarmente si gira tutto il quadrante per ricondurre la caviglia in *d*, allora, durante questo moto di rotazione la corrente

passerà 5 volte e 5 altre volte sarà interrotta; la leva dunque della calamita temporanea dell' altra stazione farà 10 mezze oscillazioni che faran correre l' indice del quadrante di questa stazione sul decimo segno. In questa maniera si trasmette un dispaccio, verificando di tempo in tempo se i due quadranti vadan tuttavia d' accordo.

S' intende nulladimeno che ogni stazione dev' esser fornita de' mezzi proprî a trasmettere e ricevere dispacci, sì che in ciascuna di esse deve trovarsi una pila, un quadrante per trasmettere ed un altro per ricevere i segni, non che un congegnamento valevole a dar l' avviso che si sta sul punto di segnalare: questo congegnamento altro non è se non un campanello (*fig.* 14 e 15) che vien colpito da un martello quando questo è messo in moto dalla leva della calamita temporanea.

Giova che tutti cotesti apparecchi non vengano ad essere simultaneamente attraversati dalla corrente, ed è perciò che vengon disposti in modo da potersi trovare o pur no nel circuito. In diverse maniere può questo effetto conseguirsi; ed uno de' più semplici è quello che qui appresso passiamo a descrivere.

Un disco d' avorio (*fig.* 8 *bis.*) è guernito per i due terzi della circonferenza di una striscia di metallo *ab*, e l' altro terzo è d'avorio. Tre fili di metallo sono in contatto con questa circonferenza, cioè i due *x* ed *y* che appartengono al gran conduttore il quale va da l' una all' altra stazione, ed il terzo *z*, che è uno degli estremi d' un di quei congegnamenti innanzi descritti, e poniamo del campanello d'avviso; l' altro estremo trovasi permanentemente in comunicazione con *x*: nella posizione del disco d' avorio, il campanello trovasi fuori del circuito, e per farvelo entrare basta, con un terzo di giro, ricondurre *c* di rimpetto ad *x*; per contro si sospenderebbe il passaggio della corrente ponendo *c* innanzi ad *y*.

Ogni apparecchio dev' esser munito d' un commutatore analogo.

298. *Telegrafo ordinario.* — Foy e Breguet han composto un sistema elettro-magnetico, che riproduce fedelmente i segni del telegrafo ordinario; esso è rappresentato nella *fig.* 10 ed 11. Lo strumento della *fig.* 10 trovasi nella stazione d'invio del dispaccio, quello della figura 11 nella stazione ove il dispaccio si riceve.

Si sa che i segni si fanno col movimento di due *indicatori* posti ai due estremi d' un *regolatore*; ciascun indicatore può prendere le 8 posizioni indicate sulla figura 10 *bis*, cioè *f chiuso*, 5c *cinque-cielo*, 10c *dieci-cielo*, 15c *quindici-cielo*, o *aperto*, 15t *quindici-terra*, 10t *dieci-terra*, 5t *cinque-terra*. Ognuno dei due indici della figura 11 esegue questi otto moti, e per questo esso è montato sopra una ruota a scappamento ad ancora che porta 8 denti ed è mossa da un oriuolo; ma perchè l' ancora lasci passare un dente, è d' uopo che essa sia spinta a dritta o a sinistra per una mezza oscillazione della leva d' una piccola calamita temporanea. In tal modo, partendo dalla postura *f* (fig. 10 *bis*), se vuolsi che l'indice venga, per esempio in 15c, convien lasciar passare 3 denti, e perciò è duopo che la leva della calamita corrispondente faccia 3 mezze oscillazioni. Si consegue quest' effetto mercè il disco *a* (*fig.* 10) la cui circonferenza è pur essa divisa in 8 parti, 4 conduttrici e 4 altre che non lo sono; questo disco è mosso da un manubrio *m*, la cui postura corrisponde precisamente a quella dell' indice. Un secondo disco *a'* messo in moto del secondo manubrio *m'*, trovasi in condizioni simili rispetto all'indice del secondo strumento (*fig.* 11). Si vede come questo telegrafo esigga due fili invece di un solo, imperocchè è necessario che la corrente si biforchi per far caminare, indipendentemente l' un dall' altro, i due indici.

299. *Telegrafo scribente.*—Cotesto telegrafo è indicato dalle fig. 12 e 13, 16 e 17. La leva della calamita temporanea è orizzontale, ed al suo estremo porta una matita convenientemente inclinata, che segna dei tratti sopra un cilindro *c*, coperto di carta e messo in moto di rotazione da un meccanismo indipendente; a ciascun giro cotesto cilindro avanza per una quantità eguale all' intervallo che vuolsi stabilire tra due tratti consecutivi; questo moto si esegue con un passo di vite *v* annessa all'asse del cilindro. Finito il dispaccio, si toglie la carta, e si ottiene un foglio vergato di segni regolarmente aggruppati, de' quali non resta che farne la traduzione. Se la leva della calamita avesse un moto regolare, siccome la sua matita non abbandona giammai la carta del cilindro, disegnerebbe una linea contorta e continua come si vede in *ab* (*fig.* 12 *bis*); ma se per contro si stabiliscono de' punti di riparo succedenti, in un certo ordine, a numeri determinati di oscillazioni, si avranno de' segni, analoghi a quelli che veggonsi rappresentati in *cd* (*fig.* 12 *bis*), che possono essere variati e moltiplicati per quanto si voglia, ed ai quali è agevole dare tutte le convenienti interpetrazioni. Un disco composto da quattro

parti conduttrici e da altre quattro che non lo sono, come si vede in *a* (*fig.* 12 e 13) basta per variare i segni secondo che il bisogno lo richiede. Vedesi in *b* la disposizione della calamita temporanea e della sua leva mobile. La figura 16 rappresenta una sezione di cotesta calamita e della leva.

§. 2. *Velocità dell' elettricità.*

300. Le sperienze da me fatte nel 1837, e delle quali ne ho riprodotto un estratto nel paragrafo 272 (*fig.* 469) danno una maniera di limite inferiore della prodigiosa velocità con la quale il fluido elettrico si propaga in un dato circuito. La sperienza in quel passaggio citata prova che in $\frac{1}{2400}$ di secondo una corrente si propaga con tutta la sua intensione in un circuito che le si para innanzi; altre dimostrazioni analoghe mi hanno insegnato che questa propagazione totale si compie eziandio in $\frac{1}{5000}$ o anche in $\frac{1}{7000}$ di secondo. La natura e l'estensione del circuito non sembrano modificare in modo alcuno cotesti risultamenti; debba la corrente attraversare poche centinaja di metri o parecchie miglinja di metri d'un filo metallico, o pure molti metri d' un cattivissimo conduttore, qual sarebbe una sottile colonna d'acqua, la sperienza riesce egualmente bene. Non si può avere *a priori* l'assoluta certezza che la velocità di propagazione sia proporzionale alla conducibilità del circuito; ma ammettendo questo principio come estremamente probabile; ne conseguiterebbe che, in certi casi almeno, la velocità dell'elettrico è assai più grande che quella della luce, poichè ammettendo soltanto in numeri rotondi, che in $\frac{1}{5000}$ di secondo la corrente percorra una colonna d' acqua d' un metro, nello stesso tempo percorrerebbe un filo di rame della medesima sezione dell' acqua, e di 2 mila milloni di metri di lunghezza, ovvero di 2 milioni di chilometri; laonde la sua velocità sarebbe circa 10 mila volte maggiore di quella della luce.

Intorno a questa materia sonosi fatte delle sperienze con metodi differenti. Wheatstone, per esempio, ha messo in opera uno strumento dei più ingegnosi che possano incontrastabilmente servire a misurare dell' intervalli di tempo eccessivamente piccoli; ma l'uso che ne ha fatto per determinare la velocità della corrente parmi non conseguir lo scopo.

§. 3. *Velocità de' projettili.*

301. Mi rimane ora a dar in poche parole un'idea del metodo da me usato per stabilire il tempo che trascorre tra l'istante in cui il cane dello schioppo urta la capsula e l'istante in cui la palla esce dalla canna. In uno schioppo da infanteria con una cartuccia di ordinanza, il tempo, in parecchie circostanze, è stato da $\frac{1}{140}$ ad $\frac{1}{150}$ di secondo. Lo stesso metodo può agevolmente servire, come tosto si vedrà, a determinare il tempo che trascorre tra due punti dati della trajettoria d' un projettile animato da grandissima valorità, non che a determinare il tempo che trascorre sulle reazioni elastiche (*Comptes rendus de l' Académie des Sciences*, t XIX, dicembre 1844).

« Se un ago calamitato trovasi in riposo, ed una corrente elettrica viene ad agire fortemente su lui, in un tempo brevissimo, un centesimo o un millesimo di secondo, per esempio, da quest' unico e quasi improviso impulso potrà risultarne un moto di deviamento lento e regolare, d' una determinata e perfettamente valutabile ampiezza. Questo moto di deviamento, in quanto alla causa, sarà differente da quello d' un pendolo balistico urtato da un projettile, ma sarà a questo molto analogo, quanto all' effetto, imperocchè, come questo, si trasformerà in oscillazioni più o meno rapide. In quest' ultimo caso, il deviamento primitivo dipende dallo stabilimento del pendolo, cioè, dalla sua massa, dalla sua lunghezza, dal suo momento d' inerzia, ec.; e dipende in seguito dalla velocità e dalla massa del projettile; e le oscillazioni che ne sono la conseguenza, e che son prodotte dall' azione della gravità, dipendono esse pure da cotesto impulso primitivo. Nei caso d' un ago calamitato, il deviamento primitivo, dipende pure dallo stabilimento dell'ago, vale a dire dalla sua massa ponderabile, dalla sua lunghezza, dal suo momento d' inerzia, dalla quantità e distribuzione del suo magnetismo libero; in seguito dipende ancora dall' intensione della corrente elettrica e dal tempo pel quale è essa esercitata la sua azione; le oscillazioni, da ultimo, che ne son la conseguenza e che vengon generate dalla forza magnetica terrestre, dipendono esse medesime da cotesto impulso primitivo. Laonde la massa e la velocità dei projettile son qui rimpiazzate

dall' intenzione della corrente e dal tempo pel quale essa opera, talmente che la durata della sua azione può dedursi dalla sua intenzione, purchè però le condizioni relative all' ago sieno completamente cognite.

« Se quindi avvenga, che una corrente elettrica possa agire in una maniera regolare ed identica ad essa stessa, in un tempo brevissimo, in un millesimo o in un diecimillessimo di secondo, e se, in pari tempo, avvenga che essa possa, con questa azione si pronta, generare in un sistema magnetico covenieute, un primo impulso, un deviamento primitivo molto lento e d' un' ampiezza molto estesa, nulla sarà più agevole quanto il determinare con esattezza degl' intervalli di tempo che si contano per millesimi o diecimillesimi di secondo. A fine dunque di ottenere tali misure con aghi calamitati, tutto si riduce a queste due essenziali questioni: qual' è il limite del tempo necessario ad una corrente perchè possa attraversare un circuito dato? Qual' è il limite dell' ampiezza delle deviazioni che esso può ingenerare in un sistema magnetico il più sensitivo?

La prima questione è stata esaminata in una memoria da me presentata all' Accademia, nel 1837, sulle leggi della intensione delle correnti elettriche (ved. più sopra); avevo allora provato che un circuito di parecchie migliaja di metri di lunghezza era attraversato dalla corrente in uno spazio di tempo che non giungeva ad $\frac{1}{7000}$ di secondo, e che in questo istante sì rapido, non era solo una parte dell' elettricità quella che si manifestava nel circuito, ma la corrente tutta intera che passava con tutta la sua intensione. Per quanto mi sappia, da quel tempo in poi, non si è spinto più oltre cotesto genere di ricerche; io dunque ammetterò questo risultamento come un limite di ciò che si è dimostrato, e non come un limite di quel che può dimostrarsi: inclino a credere, per contro, che in un tempo più breve possa l' elettricità attraversare un circuito d' una estensione molto più considerevole. Sarebbe di molto interesse lo stabilire delle sperienze su tal proposito, con circuiti di tre in quattro cento mila metri, come quelli impiegati ne'telegrafi elettrici; operando su lunghezze di questa fatta, si avrebbero maggiori facilità per trovare il limite della velocità con la quale l' elettricità si propaga, e per iscovrire eziandio se questo limite dipenda dalla lunghezza assoluta del circuito, o dal suo grado di conducibilità.

La seconda questione non rimane con la prima risoluta; dal passare tutta intera in $\frac{1}{7000}$ di secondo la corrente, e dal mantenere in equilibrio l' ago della bussola delle intensioni, col suo periodico ritorno a brevissimi intervalle, affatto non ne consegue che una sola di cotesta azioni debba imprimere all' ago un deviamento sensibile e che si può osservare. Converrebbe dunque isolare queste due cause per conoscerne gli affetti, ed io son giunto a farlo nella maniera seguente:

« Sopra un piatto di vetro di 84 centimetri di diametro trovasi incollata una striscia di stagno d' un millimetro di larghezza, che si distende, quasi fosse un raggio, dalla circonferenza al centro; quivi essa comunica con una altra striscia circolare più larga che circonda l' asse di rotazione. Poniamo che il piatto ruoti con velocità d' un giro in ogni secondo, e che i due estremi del circuito elettrico s'appoggino per mezzo di molle, l' uno sulla striscia centrale che continuamente tocca, l' altro sul vetro del piatto prossimamente alla sua circonferenza; nel momento in cui la striscia d un millimetro verrà a passare au questo secondo filo vi sarà comunicazione elettrica, e la durata delle corrente sarà appunto eguale alla durata del passaggio della striscia, cioè ad $\frac{1}{2250}$ di secondo, se si trova prossimamente alla circonferenza, ad $\frac{1}{1260}$ se si tocca nella metà del raggio, ec.

« Se il piatto fa due, tre, quattro giri per secondo, si otterranno dei passaggi d'una durata due, tre, quattro volte minori.

Or, facendo l' esperienza, ho trovato che una pila ordinaria di Daniell, a sei elementi, che debba attraversare un circuito di circa 40 metri di filo di rame di 1 millimetro, da una corrente tanto intensa che l' azione che essa esercita in $\frac{1}{5000}$ di secondo imprime un deviamento di 12 gradi nell'ago d' un galvanometro poco sensibile; l' ago impiega quasi 10 secondi per percorrere quest' arco, in guisa che l' azione rapida de' fluidi elettrico e magnetico, che si è esercitata in $\frac{1}{5000}$ di secondo, si trova in cotal modo trasformata in un moto cinquanta mila volte più lento, quando

questo moto passa nella materia ponderabile dell' ago.

« Il galvanometro del Melloni possiede una sensibilità oramai riconosciuta da tutti i fisici; essa è variabile ne' diversi galvanometri; intanto può esser presa per termine di paragone quando si tratta di dare un' idea approssimativa degli effetti elettrici. Uno di cotesti strumenti dà 15 gradi di deviamento, quando si fa su esso operare per $\frac{1}{5000}$ di secondo, la corrente d' un solo elemento di Daniell, il cui circuito si compone di circa 20 metri di filo di rame di 1 millimetro. Laonde con questo strumento si può valutare, senza imbarazzo, la diecimillesima parte d' un secondo.

« S' intende che resta a determinare le leggi secondo le quali l' ampiezza del deviamento varia nello stesso strumento con l' intensione della corrente e la durata del contatto; coteste leggi si possono dedurre da diverse considerazioni teoriche ; ma sarà necessario verificarle con esperienze precise. Frattanto, mi son limitato a graduare empiricamente l' apparecchio del quale mi son servito , a distendere cioè una tavola dei deviamenti che esso prova sotto l' influsso d' una corrente cognita, operante per un determinato tempo. Una volta eseguita questa graduazione, il galvanometro, in certo qual modo, diviene un pendolo balistico che da il tempo durante il quale la corrente esercita la sua azione.

» Tra le applicazioni che ho potuto sino ad ora farne, citerò soltanto quella che si riferisce alla velocità dell' infiammazione della polvere.

L'esperienza disponsi come segue: gli estremi d' un circuito (*fig.* 18), nel quale si trovano il galvanometro ed un elemento di Daniell, si congiungono l' uno con la capsula messa al suo luogo , e l' altro estremo col cane dello schioppo ; tutta la batteria trovasi isolata dal cannone ; una parte del filo passa innanzi all' estremo di questo, a qualche distanza, in guisa da esser tagliato dalla palla nel punto in cui esce. Ecco tutto l' apparecchio. Tirando, la corrente passa per tutto il tempo che trascorre dall' istante in cui il cane urta la capsula , sino all' istante in cui la palla taglia il filo. I deviamenti conseguiti in diverse sperienze fatte con la stessa carica di polvere sono perfettamente concordanti; le osservazioni si fanno con la maggior facilità; e, con la carica da me adoperata, i valori estremi sono $\frac{1}{140}$ ed $\frac{1}{150}$ di secondo , pel tempo che trascorre tra l' istante in cui la capsula è urtata e quello in cui la palla esce dal cannone.

Fine del tomo primo.

GIUNTA AL TOMO PRIMO.



Freddo generato dal passaggio della corrente. Peltier, mercè sperienze le più concludenti, ha stabilito un fatto estremamente notabile; si sa che la corrente elettrica genera in generale un elevamento di temperatura su tutti i conduttori che attraversa, qualunque ne sia la loro indole; per conseguenza, si ammetteva, implicitamente, che al passaggio d'un corpo in un altro questa legge non poteva mancare di verificarsi. Sottomettendo cotesta conclusione a sperienze dilicate e precise, il Peltier à riconosciuto in primo luogo che per correnti di debole intensione, che passano da uno in un altro metallo, i quali sono insieme saldàti, il *senso della corrente* influisce sull'innalzamento di temperatura che risulta dal suo passaggio, e che in generale, il grado di calore è più elevato quando la corrente passa dal corpo meno conduttore in quello miglior conduttore; ed ha in seguito riconosciuto che se i due metalli saldati sono l'antimonio ed il bismuto, si osserva, invece d'un riscaldamento, un considerevole *raffreddamento*, quando la corrente passa dal bismuto all'antimonio. Così, disponendo due elementi bismuto ed antimonio *b* e *b'* (*fig.* 466 *bis*, *tav.* 21) ciascuno in una delle palline d'un termoscopio, in guisa che una delle saldature si riscaldi e l'altra si raffreddi, pel passaggio della corrente d'una pila, si vede l'indice *i* del termoscopio avanzarsi in un senso o nell'altro, secondo la direzione della corrente.

Il Peltier ha benanche stabilito questo fatto per mezzo della sua *pinzetta elettrica*(*fig.* 466, *tav.* 21). Questo strumento componesi di due coppie bismuto ed antimonio che formano una pila: il primo di cotesti elementi *a* trovasi da un lato della saldatura dove si vuole osservare l'effetto della corrente, e l'altro estremo *a'* trovasi dall'altro lato; sono essi elettricamente congiunti da un filo di comunicazione, e di più congiunti mercè una molla che li preme. La corrente d'una pila va, per esempio, dal bismuto *b* all'antimonio *a*, nella sbarra *ab* fissata sopra appoggi *ss'*; allora le due saldature della pinzetta partecipante al raffreddamento che la corrente genera col suo passaggio in questa sbarra composta, è indicato da un galvanometro che è messo in comunicazione mercè i fili *f* ed *f'*.

TAVOLA

DEGLI EQUIVALENTI CHIMICI

L'OSSIGENO ESSENDO RAPPRESENTATO DA 100.

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
Acido acetico (dens. 1063)	$C^4H^4O^4=C^4H^3O^3+HO$	750 00
Acetati.	$C^4H^3O^3+RO$	
Acetati idrati.	$C^4H^3O^3+RO+NHO$	
Alcool.	$D^4H^6O^2$	575 00
Alluminio.	Al	171 16
Allumina.	Al^2O^3	642 32
Cloruro di alluminio.	Al^2Cl^3	1670 28
Allume potassico.	$3SO^3,Al^2O^3+SO^3KO+24HO.$	5962 34
» ammonico.	$3SO^3,Al^2O^3+SO^3,AzH^3HO$ $+24HO$	5673 44
Ammoniaca.	AzH^3	212 50
Solfato di ammoniaca.	$SO^3AzH^3.HO$	826 16
Azotato.	AzO^5,AzH^3,HO	1000 00
Ossalato.	$C^2O^3,AzH^3,HO+HO$	887 50
Antimonio.	Sb	1612 90
Ossido di antimonio.	SbO^3	1912 90
Acido antimonioso.	SbO^4	2012 90
Acido antimonico.	SbO^5	2112 90
Proto-cloruro, solfuro, ioduro...	$SbCl^3,S^3,I^3$...	
Per-cloruro, solfuro...	$SbCl^5,S^5$...	
Argento.	Ag	1351 61
Ossido di argento.	AgO	1451 61
Cloruro, solfuro, ioduro, cianuro di argento	$AgCl,S,I,Cy$	
Azotato di argento.	AzO^5AgO	2126 61
Solfato.	SO^3AgO	1952 77
Arsenico.	As	940 08
Acido arsenioso.	AsO^3	1240 08
Acido arsenico.	AsO^5	1440 08
Protocloruro, solfuro d'arsenico.	$AsCl^3,S^3$	
Per-cloruro.	$AsCl^5$	
Arseniti.	AsO^3RO	
Arseniati.	AsO^5,RO	
Azoto.	Az	175 00
Protossido di azoto.	AzO	275 00
Biossido.	AzO^2	375 00
Acido azotoso.	AzO^3	475 00
» ipoazotico.	AzO^4	575 00

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
» azotico nei sali.	AzO^5	675 00
Acido azotico idrato.	AzO^5+HO	787 50
Azotiti.	AzO^3,RO	
Azotati.	AzO^5,RO	
Bario.	Ba	856 88
Barite.	BaO	956 88
Biossido di bario.	BaO^2	1056 88
Cloruro, solfuro.	Ba,Cl,S	
Solfato di barite.	SO^3,BaO	1458 04
Azotato.	AzO^5,BaO	1631 88
Carbonato.	CO^2,BaO	1233 40
Clorato.	$ClO^5,BaO+HO$	2012 09
Benzoile.	$C^{14}H^{10}O^2=Bz$	1375 00
Idruro di benzoile.	BzH	1387 50
Cloruro.	$BzCl$	1817 65
Acido benzoico.	BzO,HO	1587 50
Benzamide.	Bz,AzH^2	1575 00
Bismuto.	Bi	1330 70
Ossido di bismuto.	Bi^2O^3	2960 73
Cloruro, solfuro, ioduro di bismuto.	Bi^2Cl^3,S^3,I	
Azotato di bismuto cristallizzato.	$3AzO^5,Bi^2O^3+9HO$	
Boro.	B	136 20
Acido borico fuso.	BO^3	436 20
» cristallizzato.	BO^3+3HO	773 70
Gas fluoborico.	BFl^3	837 60
Borati.	BO^3,RO	
Bromo.	Br	979 02
Acido bromico.	BrO^5	1479 02
» bromoidrico.	BrH	991 52
Bromuri (Br. sostituisce O degli ossidi).		
Cadmio.	Cd	696 77
Ossido di cadmio.	CdO	796 77
Cloruro, solfuro . . di cadm.	$Cd,Cl,S,I...$	
Solfato di cadmio.	$SO^3,CdO+4HO$	1747 93
Calcio.	Ca	256 02
Calce.	CaO	356 02
Calce idrata.	CaO,HO	468 52
Cloruro di calcio.	$CaCl$	798 67
Carbonio.	C	75 00
Ossido di carbonio.	CO	175 00
Acido carbonico.	CO^2	275 00
Acido ossalico anidro.	C^2O^3	450 00
» disseccato.	C^2O^3,HO	562 50
» cristallizzato.	$C^2O^3,2HO$	675 00
Carbonati.	$CO^2,RO+nHO$	
Ossalati.	$C^2O^3,RO+nHO$	
Acido mellitico.	C^4O^3	600 00
» croconico.	C^5O^4	775 00
Solfuro di carbonio.	CS^2	477 32

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
Cloruro di carbonio.	C^2Cl	592 65
Bicloruro di carbonio.	C^2Cl^2	1035 30
Ioduro di carbonio.	C^2I	1729 50
Protocarburo d' idrogeno.	C^2H^4	200 00
Metilena.	C^2H^2	175 00
Bicarburo d' idrogeno.	C^4H^4	350 00
» dell' olio.	C^8H^8	700 00
Cetena.	$C^{32}H^{32}$	2800 00
Naftalina.	$C^{20}H^8$	1600 00
Terebinto.	$C^{20}H^{16}$	1700 00
Cerio.	Ce	574 69
Ossido di cerio.	CeO	674 69
Sesquiossido.	Ce^2O^3	1449 39
Cianogeno.	$AzC^2=Cy$	325 00
Acido cianoidrico.	$AzC^2H=CyH$	337 50
Solfo-cianogeno.	AzC^2S^2	727 38
Cianoferruro d' idrogeno.	$CyFe,2CyH+HO$	1451 70
Cianoferruro giallo di potassio.	$CyFe,2CyK+3HO$	2631 53
Cianoferruro rosso di potassio.	$Cy^3Fe^2,3CyK$	4098 14
Spirito di legno.	$C^2H^4O^2$	400 00
Cloro.	Cl	442 65
Acido ipocloroso.	ClO	542 65
» cloroso.	ClO^3	742 65
» clorico.	ClO^5	942 65
» iperclorico.	ClO^7	1142 65
» cloroidrico.	ClH	455 15
Cobalto.	Co	368 99
Ossido di cobalto.	CoO	468 99
Sesquiossido di cobalto.	Co^2O^3	1037 98
Solfato di cobalto.	$SO^3,CoO+6HO$	1645 03
Colombio (tantalio).	Ta	1153 74
Ossido di colombio.	TaO	1253 74
Sesquiossido di colombio.	Ta^2O^3	2607 43
Cromo.	Cr	328 00
Ossido di cromo (Peligot).	CrO	428 00
Sesquiossido.	Cr^2O^3	956 00
Acido cromico.	CrO^3	628 00
Cloruro di cromo (Peligot).	$CrCl$	770 00
Sesquicloruro.	Cr^2Cl^3	1982 00
Cromati.	CrO^3,RO	
Etere idrico.	C^4H^5O	462 50
»' cloroidrico.	C^4H^5Cl	805 15
Etere nitroso.	AzO^3,C^4H^5O	939 50
» acetico.	$C^8H^8O^4$	1100 00
» ossalico.	$C^6H^5O^4$	912 15
» benzoico.	$C^{18}H^{10}O^4$	1875 00
» metilico.	C^2H^3O	287 50
Ferro.	Fe	339 20
Protossido.	FeO	439 20

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
Sesquiossido.	Fe^2O^3	978 41
Protocloruro.	$FeCl$	781 85
Sesquicloruro.	Fe^2Cl^3	1003 18
Solfato di protossido di ferro.	$SO^3,FeO+7HO$	1727 89
Fluoro.	Fl	233 80
Acido fluoroidrico.	FlH	246 30
Fosforo.	P	392 31
Ossido di fosforo.	P^2O	884 62
Acido ipofosforoso.	PO	492 31
» fosferoso	PO^5	692 31
» fosforico.	PO^5	892 31
Idruro di fosforo solido.	PH	404 81
Idrogeno fosforato.		
Glucinio.	G	331 26
Glucina.	GO	441 26
Idrogeno.	H	12 50
Acqua.	HO	112 50
Acqua ossigenata.	HO^2	212 50
Iodo.	I	1579 50
Acido iodico.	IO^5	2079 50
Acido iodoidrico.	IH	1592 00
Iridio.	Ir	1233 50
Ossido d' iridio.	IrO	1333 50
Sesquiossido.	Ir^2O^3	2767 00
Biossido.	IrO^2	1433 50
Triossido.	IrO^3	1533 50
Ittrio.	Y	948 61
Ittria.	YO	1048 61
Litio.	L	80 37
Litina.	LO	180 37
Magnesio.	Ma	158 35
Magnesia.	MaO	258 35
Cloruro di magnesio.	$MaCl$	601 00
Solfato di magnesia cristallizzato.	$SO^3,MaO+7HO$	1547 02
Manganese.	Mn	345 88
Ossido di manganese.	MnO	445 88
Ossido rosso id.	Mn^3O^4	1437 66
Sesquiossido.	Mn^2O^3	991 77
Acido manganico.	MnO^3	645 88
» ipermanganico.	Mn^2O^7	1391 77
Mercurio.	Hg	1265 82
Protossido di mercurio.	Hg^2O	2631 64
Biossido id.	HgO	1365 82
Protocloruro id.	Hg^2Cl	2974 29
Protoioduro id.	Hg^2I	4111 14
Bicloruro id.	$HgCl$	1708 47
Bijoduro id.	HgI	2845 32
Cianuro id.	$HgCy$	1590 82
Molibdeno.	Mo	598 52

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
Ossido di Molibdeno.	MoO	698 52
Biossido id.	MoO^2	798 52
Acido molibdico.	MoO^3	898 52
Nichel.	Ni	369 67
Ossido di nichel.	NiO	469 67
Sesquiossido id.	Ni^2O^3	1039 35
Oro.	Au	1243 01
Ossido di oro.	AuO	2586 02
Acido aurico.	Au^2O^5	2786 02
Protocloruro d'oro.	Au^2Cl	2928 49
Tricloruro d'oro.	Au^2Cl^3	3813 97
Osmio.	Os	1244 48
Ossidio di osmio.	OsO	1344 48
Sesquiossido id.	Os^2O^3	2788 97
Biossido id.	OsO^2	1444 48
Triossido id.	OsO^3	1544 48
Palladio.	Pa	665 90
Ossido di Palladio.	PaO	765 90
Biossido id.	PaO^2	865 90
Platino.	Pt	1233 50
Ossido di platino.	PtO	1333 50
Biossido id.	PtO^2	1433 50
Bicloruro id.	$PtCl^2$	2118 80
Cloruro di platino e di potassio.	$PtCl^2KCl$	3051 36
Piombo.	Pb	1294 56
Sottossido di piombo.	Pb^2O	2689 90
Ossido id.	PbO	1394 50
Ossido color pulce id.	PbO^2	1494 50
Minio.	$Pb^3O^4{=}PbO^2,2PbO$	4283 50
Cloruro di piombo.	$PbCl$	1737 15
Carbonato id.	CO^2PbO	1669 50
Ossalato id.	C^2O^3,PbO	1844 50
Potassio.	K	489 92
Potassa.	KO	589 92
Potassa idrata.	$KO+HO$	702 42
Perossido di potassio.	KO^3	789 92
Cloruro id.	KCl	932 56
Azoturo id.	AzK^3	1644 75
Azotato di potassa.	AzO^5,KO	1264 92
Rame.	Cu	395 69
Ossido rosso di rame.	Cu^2O	891 39
Ossido nero.	CuO	495 69
Solfato di rame cristallizzato.	$SO^3CuO+5HO$	1559 35
Cloruro di rame.	Cu^2Cl	1234 03
Bicloruro.	$CuCl$	838 34
Rodio.	$Rd.$	651 39
Ossido di rodio.	RdO	751 39
Sesquiossido id.	Rd^2O^3	1602 70
Cloruro id.	$RdCl$	2094 04

SOSTANZE	FORMOLE	EQUIVALENTI
Sesquicloruro id.	Rd^2Cl^3	2630 73
Selenio.	Se	494 60
Silicio.	Si	277 31
Acido silicico, quarzo.	SiO^3	577 31
Cloruro di silicio.	$SiCl^3$	1605 26
Fluoruro.	$SiFl^3$	378 71
Sodio.	Na	290 89
Soda.	NaO	390 89
Cloruro di sodio.	$NaCl$	733 54
Solfato di soda idrato.	$SO^3,NaO+10HO$	1017 05
Solfo.	S	201 16
Acido iposolforoso.	SO	301 16
» solforoso.	SO^2	401 16
» iposolforico.	S^2O^5	902 32
» solforico anidro.	SO^3	501 16
» cristallizzabile.	$SO^3,2HO$.	726 16
Stagno.	Sn	735 29
Ossido di stagno.	SnO	835 29
Acido stannico.	SnO^2	935 29
Cloruro di stagno.	$SnCl$	1177 94
Bicloruro di stagno.	$SnCl^2$	1620 59
Stronzio.	Sr	587 28
Stronziana.	SrO	687 28
Solfato di stronzio.	SrS	788 44
Tellurio.	Te	801 76
Acido telluroso.	TeO^2	1001 76
» tellurico.	TeO^3	1101 76
Torinio.	Th	744 90
Ossido di torinio.	ThO	844 90
Titanio.	Ti	303 66
Acido titanico.	TiO^2	503 66
Cloruro di titanico.	$TiCl^2$	1188 90
Tungsteno o wolfram.	W	1183 00
Ossido di tungstico.	WO^2	1383 00
Acido tungstico.	WO^3	1483 00
Uranio.	U	750 00
Urano (protossido) (Peligot).	UO	850 00
Perossido di Uranio.	U^2O^3	1800 00
Vanadio.	V	856 89
Ossido di vanadio.	VO	956 89
Acido vanadioso.	VO	1056 89
Acido vanadico.	VO^3	1156 89
Zinco.	Zn	403 23
Ossido di zinco.	ZnO	503 23
Cloruro id.	$ZnCl$	845 88
Solfato di zinco anidro.	So^3ZnO	1004 39
» idrato.	$SO^3,ZnO+7HO$	1792 44
Zirconio.	Zr	420 12
Zirconia.	Zr^2O^3	1140 25

INDICE
DELLE MATERIE

CONTENUTE NEL VOLUME 1.°

CAPO I.

CAPO II.

CAPO III.

DELL' EQUILIBRIO E DEL MOTO.

LIBRO PRIMO

DELLA GRAVITA'

CAPO I.

DIREZIONE DELLA GRAVITÀ.

CAPO II.

LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI.

CAPO III.

EQUILIBRIO DEI GRAVI.

CAPO IV.

DEL PENDOLO

LIBRO SECONDO

DEL CALORICO

—

NOZIONI GENERALI

PARTE PRIMA

CAMBIAMENTO DI VOLUME E DI STATO DEI CORPI

SEZIONE PRIMA

CAMBIAMENTO DI VOLUME

CAPO I.

DILATAZIONE

CAPO II.

DENSITÀ

SEZIONE SECONDA

CAMBIAMENTO DI STATO DEI CORPI

CAPO I.

DELLA FUSIONE E DEL CONSOLIDAMENTO

CAPO II.

DE' VAPORI NEL VÒTO

CAPO III.

DE' VAPORI MESCOLATI CO' GAS

CAPO IV.

DELL' EBOLLIZIONE E DELL' EVAPORAZIONE

CAPO V.

CALDAJE A VAPORE — MACCHINE A BASSA ED ALTA PRESSIONE — MACCHINE LOCOMOTIVE.

§. *1. Caldaje a vapore.*

LIBRO TERZO

MAGNETISMO ED ELETTRICITA'

SEZIONE PRIMA

DEL MAGNETISMO.

CAPO I.

DELL' AZIONE DELLE CALAMITE SOPRA LORO STESSE, E SULLE SOSTANZE MAGNETICHE

CAPO II.

DELL' AZIONE MAGNETICA DELLA TERRA

CAPO III.

DELLE LEGGI E DELLA TEORIA DEL MAGNETISMO

CAPO IV.

METODI DI CALAMITARE

SEZIONE SECONDA

DELL' ELETTRICITA'

CAPO I.

DELLE AZIONI ELETTRICHE

CAPO II.

DELLA ELETTRICITÀ PER INFLUSSO

CAPO III.

LEGGI DELLE FORZE ELETTRICHE

CAPO IV.

DELLA ELETTRICITÀ DISSIMULATA

CAPO V.

DELLA LUCE ELETTRICA, E DEL MOTO DEI CORPI ELETTRIZZATI

CAPO VI.

ELETTRICITÀ SVILUPPATA DALLA PRESSIONE E DAL CALORICO

SEZIONE TERZA

ELETTRO-MAGNETISMO

CAPO I.

GALVANISMO E PILA DI VOLTA

CAPO II.

DELLE AZIONI DELLE CORRENTI SULLE CALAMITE

CAPO III.

AZIONE DELLA TERRA E DELLE CALAMITE SULLE CORRENTI

CAPO VI.

ELETTRO-CHIMICA

§ 1. *Scomposizioni chimiche generate dalle correnti elettriche.*

§ 2. *Azioni lente generate dall' elettricità.*

§ 3. *Descrizione delle pile voltaiche di vari sistemi e disamina delle azioni chimiche che esse patiscono.*

§ 4. *Varie applicazioni dell' elettricità voltaica.*

CAPO VIII.

FENOMENI D' INDUZIONE

CAPO IX.

TELEGRAFI ELETTRICI, VELOCITÀ DELL' ELETTRICITÀ, VELOCITÀ DE' PROJETTILI NELLE ARMI DA FUOCO.

GIUNTE AL TOMO I.

SUPPLEMENTI

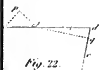
Fine dell' indice.


Fig. 4.
a
a


Fig. 14.
a
b
c


Fig. 15.


Fig. 16.


Fig. 22.

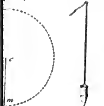

Fig. 27.
c
m


Fig 28.



Fig. 38.

Fig. 39.

Fig. 40.

Fig. 44.

Fig. 46.

Fig. 52.

Fig. 51.


Fig


Fi


ig 74.
b


F
a


Fig. 96.
a

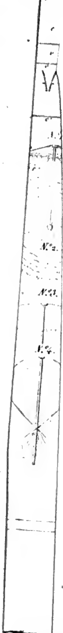
ID1



Fig 115.







N°2.
N°3.
N°4.

158.







67.

















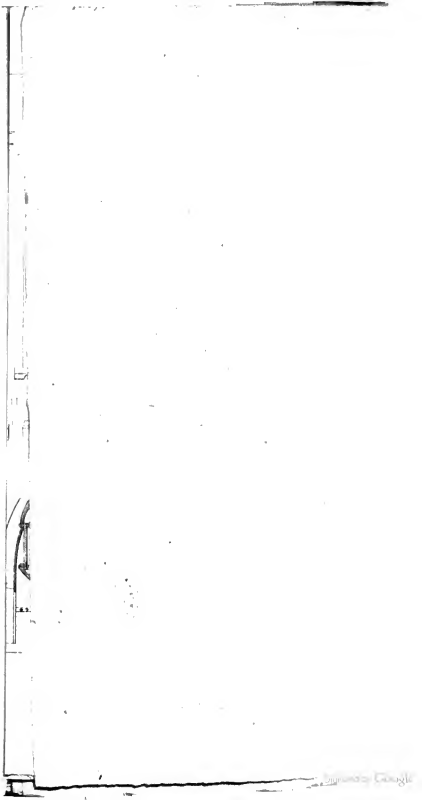





CA

109

110



CA

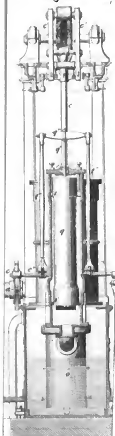




MAC

Fig. 10. b

Fig. 1. b.





Google





Fig. 274





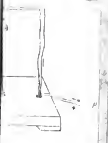





Fig. 355.






Fig. 367.



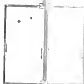

Fig. 373.






Fig. 383. Fig. 384.


Fig. 377.


Fig. 378.








Fig. 130.

Fig

Fig. 157















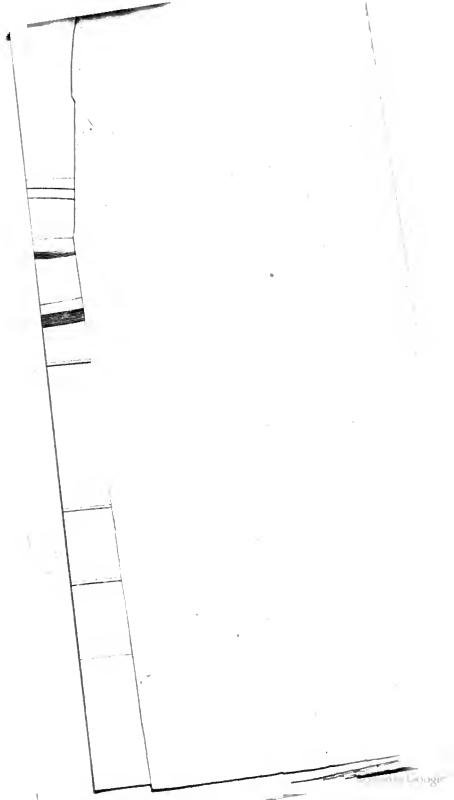




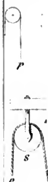












R

